REVUE GÉNÉRALE DES

SCIENCES

PURES ET APPLIQUÉES

PUBLIÉE AVEC LE CONCOURS DU CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ET BULLETIN DE L'ASSOCIATION FRANÇAISE POUR L'AVANCEMENT DES SCIENCES

Président du Comité de Direction :
Georges BOULIGAND
Professeur à la Faculté des Sciences de Paris
Correspondant de l'Institut

Vice-Président :
Jean VERNE
Professeur à la Faculté de Médecine de Paris
Membre de l'Académie de Médecine

Tome LXIII - 1956

SOCIETE D'EDITION D'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
5, place de la Sorbonne - PARIS 5e

Fondateur : **L. OLIVIER** (1890-1920)
Directeurs : **J.-P. LANGLOIS** (1910-1923), **L. MANGIN** (1924-1937), **R. ANTONY** (1937-1941), **J. VILLEY** (1941-1948)

Président d'Honneur :

M. J. TREFOUEL, membre de l'Institut et de l'Académie de Médecine, Directeur de l'Institut Pasteur.

COMITÉ DE DIRECTION

Président : le Professeur **G. BOULIGAND,** Correspondant de l'Institut.

Vice-Président : le Professeur **Jean VERNE,** Membre de l'Académie de Médecine.

Membres : MM. le Doyen **R. FABRE,** Membre de l'Institut et de l'Académie de Médecine, **Ph. GUINIER,** Membre de l'Institut, **R. CAVIER, R. FURON, P. JOVET, Paul LAFFITTE, Maurice PARODI, G. PETIAU**

Secrétaire général : R. CONSTANS.

COMITÉ DE RÉDACTION

G. BERTRAND, *Membre de l'Institut.*
L. BINET, *Membre de l'Institut et de l'Académie de Médecine, Doyen de la Faculté de Médecine*
L. BLARINGHEM, *Membre de l'Institut.*
Louis de BROGLIE, *Membre de l'Académie Française, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences.*
Maurice de BROGLIE, *Membre de l'Académie Française et de l'Académie des Sciences.*
J. CABANNES, *Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences.*
A. CAQUOT, *Membre de l'Institut.*
A. DANJON, *Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire de Paris, Professeur à la Sorbonne.*
G. DAVY, *Membre de l'Institut,*
R. DUBRISAY, *Professeur honoraire au Conservatoire national des Arts et Métiers et à l'Ecole Polytechnique.*
R. DUSSAUD, *Membre de l'Institut.*
A. CHATELET, *Doyen honoraire de la Faculté des Sciences.*
L. GODEAUX, *Membre de l'Académie Royale des Sciences de Belgique, Professeur à l'Université de Liége.*
L. HACKSPILL, *Membre de l'Institut.*
R. HEIM, *Membre de l'Institut, Directeur du Muséum National d'Histoire Naturelle.*
C. JACOB, *Membre de l'Institut.*
R. P. LEJAY, *Membre de l'Institut.*
L. JULLIOT de la MORANDIÈRE, *Membre de l'Institut.*
A. LAMOTHE, *Directeur des Etudes à l'Ecole Polytechnique.*
Ch. LAUBRY, *Membre de l'Institut et de l'Académie de Médecine.*
A. LEPAPE, *Professeur à l'Ecole de Physique et de Chimie, Chargé de Cours au Collège de France.*
M. LOEPER, *Membre de l'Académie de Médecine, Professeur à la Faculté de Médecine.*
PASTEUR VALLERY-RADOT, *Membre de l'Académie Française et de l'Académie de Médecine, Professeur à la Faculté de Médecine.*
J. PERES, *Membre de l'Institut, Doyen de la Faculté des Sciences.*
A. PORTEVIN, *Membre de l'Institut.*
M. PRENANT, *Professeur à la Sorbonne.*
H. VILLAT, *Membre de l'Institut, Professeur à la Sorbonne.*
Paul E. WENGER *Doyen de la Faculté des Sciences de Genève, Directeur de l'Ecole de Chimie.*

Adresser tout ce qui concerne la rédaction :
à M. R. CONSTANS, 5, place de la Sorbonne, Paris (V^e^)

TARIF DE L'ABONNEMENT 1956

France, France d'outre-mer, Monaco, Sarre..... 900 francs
Etranger..... 1.000 francs
Payable par mandats, chèques sur Paris et chèques postaux (compte Paris 5625.02)

ÉDITORIAL

La *Revue générale des Sciences pures et appliquées* n'est pas une revue spécialisée en mathématiques, en physique, en chimie ou en sciences naturelles. Chaque discipline possède ses périodiques destinés aux spécialistes, seuls capables d'ailleurs d'en comprendre même le vocabulaire. Notre revue est, au contraire, un organe de documentation, de diffusion et de liaison interdisciplines, permettant aux lecteurs, venus de tous les horizons, d'être informés de ce qui se passe dans le monde scientifique.

Dans ce but d'information, deux nouvelles rubriques, créées dès ce premier numéro de 1956, « *Echos et Nouvelles* » et « *R. G. S. Information* » nous permettent de faire connaître à nos lecteurs les élections à l'Institut, les nominations dans l'Enseignement supérieur et de brèves nouvelles susceptibles, nous l'espérons, de les intéresser.

D'autre part nous allons procéder à quelques *grandes enquêtes* dont les résultats seront analysés dans la revue. La première portera sur le « *troisième cycle* » des Facultés des Sciences (voir p. 56).

Autrefois, à côté d'articles originaux, nous avons publié des « *Revues annuelles* ». Il devient évident qu'elles tendaient, faute de recul, à donner trop d'importance à certains faits nouveaux. Elles ne rendaient pas service aux spécialistes qui, eux, sont déjà au courant par *leurs* périodiques ; mais en couvrant des périodes plus longues, nous pouvons envisager d'utiles mises au point. Ainsi on sait la place que tient la Géologie dans l'économie moderne, mais on connaît moins ses divers aspects actuels ; on trouvera dans ce numéro une étude de M. Raymond Furon sur les progrès de la Géologie depuis cinquante ans.

Enfin nous nous efforcerons de remplir notre rôle d'informateur en présentant des articles synthétiques, écrits par des spécialistes pour des non-spécialistes, c'est-à-dire en langage clair, avec les commentaires nécessaires et un bibliographie permettant, sans plus, de retourner aux sources. C'est dans ce sens que nous avons publié récemment les études de M. J. Lavollay sur les oligo-éléments dans la nutrition et la croissance des microorganismes, et de M. Roland Muxart sur l'utilisation des radio-éléments, et que le prochain numéro contiendra un article du Professeur Chrétien sur les Métaux nouveaux venus dans la technique.

LES LIVRES REÇUS

ARZELIES (Henri). — La Cinématique relativiste (Gauthier-Villars, Paris).

BAUER (Edmond). — Champs de Vecteurs et de Tenseurs. Introduction à l'Electromagnétisme (Masson et C^ie^, Paris). 2.200 francs.

BETH (E. W.). — L'Existence en Mathématiques (Gauthier-Villars, Paris).

BORN (Max). — L'Expérience et la Théorie physique (Gauthier-Villars, Paris). 250 francs.

BRILLOUIN (Léon) et PARODI (Maurice). — Propagation des ondes dans les milieux périodiques (Masson et C^ie^, Paris). Broché : 4.000 fr ; cartonné toile : 4.600 francs.

BRISAC (Robert). — Exposé élémentaire des principes de la Géométrie euclidienne (Gauthier-Villars, Paris). 1.200 francs.

CERIGHELLI (R.). — Cultures tropicales. I. Plantes vivrières (J. B. Baillière, Paris).

CHAMBADAL (Paul). — Les Turbines (Coll. Armand Colin). 300 francs.

DEICHA (G.). — Les lavures des Cristaux et leurs inclusions fluides (Masson et C^ie^, Paris). 950 francs.

DENJOY (Arnaud). — Articles et Mémoires. I. La variable complexe ; II. Le Champ réel. Notice (Gauthier-Villars, Paris).

DINGEMANS (Guy). — Formation et transformation des Continents (Armand Colin, Paris).

FEVRIER (Paulette). — L'interprétation physique de la Mécanique ondulatoire et des théories quantiques (Gauthier-Villars, Paris). 3.200 francs.

KOPAL (Zdenek). — Numerical Analysis (Chapman et Hall, Londres). 63/-.

LAVOISIER (Œuvres). — Correspondance, fasc. I (Albin Michel, Paris).

MASON (S. F.). — Histoire des Sciences (Armand Colin, Paris). 1.300 francs.

MORET (Léon). — Précis de Géologie (Masson et C^ie^, Paris). Broché : 2.400 francs ; cartonné toile : 3.000 francs.

ROQUES (M.), SIEGFRIED (A.), ARLAND (M.), HEIM (R.) et BERARD (L.). — Cinq propos sur la Langue française (Fondation Singer-Polignac, Paris).

Annuaire pour l'an 1956, publié par le BUREAU DES LONGITUDES (Gauthier-Villars, Paris). 1.000 francs.

Association des services géologiques africains : Réunion de Nairobi.

L'Industrie des métaux non ferreux en Europe (Publication de l'O. E. C. E.).

REVUE GENERALE DES SCIENCES
PURES ET APPLIQUEES
ET BULLETIN DE L'ASSOCIATION FRANÇAISE POUR L'AVANCEMENT DES SCIENCES
TOME LXIII Janvier-Février 1956 N°s 1-2

Chronique & Correspondance

Le Recteur Jean SARRAILH à l'Institut

La *Revue Générale des Sciences* ne pouvait pas ne pas s'associer à la grande joie de tous les hispanistes, de tous les érudits et de tous les savants, en apprenant l'élection, le 21 novembre 1955, de M. Jean Sarrailh, Recteur de l'Université de Paris, au fauteuil du Baron Seillière à l'Académie des Sciences morales et politiques.

Administration, recherche, enseignement, littérature comparée, histoire littéraire, il n'est aucun domaine que M. Jean Sarrailh n'ait marqué de son sceau. Il fut d'abord professeur d'E.P.S., sorti de l'Ecole Normale Supérieure de Saint-Cloud. Brillamment reçu à l'agrégation d'espagnol en 1919, il fut longtemps professeur au lycée de Poitiers et, après avoir soutenu, en 1930, une thèse très remarquable (1), il devint Maître de conférences puis professeur à la Faculté des lettres de Poitiers. Nommé Recteur de l'Université de Grenoble en 1937, il fut ensuite Recteur de l'Université de Montpellier et succéda, en 1947, à Gustave Roussy comme Recteur de l'Université de Paris.

Nonobstant ses lourdes charges et ses hautes fonctions, M. Jean Sarrailh continua sa carrière d'hispaniste, d'historien et de critique littéraire.

Signalons, entre autres grands ouvrages et dans une production d'une très rare densité : *la Fortune d'Atala en Espagne,*

(1) Un homme d'état espagnol : Martinez de la Rosa.

le Voyage en Espagne d'Alexandre Dumas père, Voyageurs français au XVIII[e] *siècle en Espagne, Prosateurs espagnols contemporains, etc.*

Il faut faire une place à part à son très grand livre : *l'Espagne éclairée dans la deuxième moitié du* XVIII[e] *siècle* qui *mutatis mutandis* a eu l'importance, la renommée et la portée du grand ouvrage de Paul Hazard sur *la Crise de la Conscience européenne.*

Président du Conseil de l'Université de Paris, le Recteur Jean Sarrailh devait, par ses fonctions, être lié à toutes les commissions importantes du ministère de l'Education Nationale, de l'O.N.U. ou de l'U.N.E.S.C.O. Signalons à ce propos le rôle qu'il a joué lors de la récente réforme de l'enseignement où il a présidé la célèbre commission d'enquête qui devait conclure à la suppression du baccalauréat de l'Enseignement secondaire.

M. le Recteur Jean Sarrailh, membre de l'Institut, a su se faire aimer par ses collègues, ses confrères et ses collaborateurs au même titre que le Professeur Sarrailh était jadis aimé par tous ses disciples, car il a su garder dans les plus hautes fonctions universitaires la bonhomie, l'extrême gentillesse et la simplicité parfaite des très grands esprits.

Denis HUISMAN.

Le Professeur CHARONNAT

Membre de l'Académie de Médecine

M. Raymond Charonnat, professeur de Chimie organique à la Faculté de pharmacie de Paris, a été élu le 22 novembre dernier membre de l'Académie nationale de Médecine (section Pharmacie), au fauteuil laissé vacant par le regretté biochimiste, le Professeur Javillier.

Né en 1894, M. Charonnat commença ses études à la veille de la guerre. Reçu premier au concours d'internat de 1920, il fut nommé, dès 1924, pharmacien des Hôpitaux de Paris. Initié aux recherches chimiques par le Professeur Delépine, il étudia avec lui la chimie des complexes minéraux et des corps optiquement actifs et soutint, en 1931, une thèse de Doctorat ès-Sciences sur les complexes du Ruthénium.

Nommé préparateur de la chaire d'Hydrologie, il s'occupe de diverses recherches hydrologiques, surtout avec R. Delaby et M. M. Janot. A partir de 1929, ses travaux portèrent également sur la chimie et la physiologie de la fonction biliaire avec Et. Chabrol.

Désigné pour la direction de la Pharmacie centrale des Hôpitaux, en 1939, il prit ses fonctions au moment de la grande disette de médicaments. Il étudia alors différentes séries de médicaments chimiques, le contrôle des médicaments (activité et élimination des pyrogènes), le cholestérol, le rôle du soufre dans les produits organiques.

Après avoir occupé, de 1944 à 1947, la chaire de Chimie analytique, M. Charonnat a été nommé en 1948 titulaire de la chaire de Chimie organique et ses recherches actuelles concernent surtout le mécanisme des réactions pharmacodynamiques, particulièrement l'anesthésie cornéenne, l'action des convulsivants et anticonvulsivants et les réactions nerveuses consécutives aux injections intraveineuses.

R. Constans.

CONFÉRENCES INTERSCIENCES

sous la direction de M. le Professeur Bouligand.

Les conférences intersciences, inaugurées l'an dernier et suivies par un nombreux public d'universitaires (maîtres et étudiants) et de techniciens, vont reprendre en mars, à l'Institut H. Poincaré, 11, rue Pierre-Curie (salles 116, 118, au 1er étage).

Un premier cycle est prévu comme suit :

6 mars, 17 h. 30, salle 116. — Vues générales par M. G. Bouligand ; l'estimation de la part du hasard, par M. M. Kivelio-vitch.

7 mars, 17 h., salle 118. — La genèse des sons du langage, par M. R. Husson ; l'étude du cerveau, par M. le Dr Laget.

13 mars, 17 h. 30, salle 116. — Nouveau aspect de la dynamique relativiste des systèmes de points en interaction, par M. O. Costa de Beauregard ; remarques et conclusions, par M. G. Bouligand.

Un autre cycle concernant les problèmes de l'ionosphère, de l'astrophysique, la théorie du champ unitaire d'Einstein et autres sujets est prévu après Pâques.

Echos & Nouvelles

● *La production mondiale de houille.* — En vingt ans, de 1934 à fin 1953, la production mondiale de houille a augmenté de 50 %, passant de 1 milliard de tonnes à 1 milliard 520 millions.

Les quatre grands producteurs sont : les Etats-Unis (436 millions de tonnes par an), l'U.R.S.S. (320), la Grande-Bretagne (227), et l'Allemagne (128, y compris l'Allemagne orientale qui ne donne plus que 3 millions de tonnes). Viennent ensuite : la Pologne (88 millions de tonnes contre 29 avant la guerre) et la France (un peu plus de 50 millions de tonnes).

● *Vers le Pôle Nord en bateau.* — Le brise-glace soviétique *Fédor Litké* a atteint, le 12 septembre 1955, un point situé par 83°11' de lat. Nord et 49°3' de long. Est. C'est le point le plus septentrional jamais atteint en navigation libre. L'ancien record était détenu par le *Malvyguine* qui avait navigué jusqu'à 82°28' de lat. Nord, en 1932.

● *Le gaz naturel en France.* — La production de gaz naturel provient actuellement de Saint-Marcet, près de Saint-Gaudens. 2.240 millions de mètres cubes de gaz ont été extraits de 1939 à 1955, sur une réserve prévue de 6.500 millions. Le gisement sera épuisé dans quinze ans au maximum. Le gaz est traité à l'usine de Boussens où l'on en extrait 22.000 tonnes de propane, butane et essence. De là, 850 km. de pipe-line répartissent le gaz utile dans le bassin aquitain (Toulouse, Bordeaux et Pau).

Le gaz naturel de Lacq (20 milliards de mètres cubes) sera exploité en 1957.

● *Le prix du pétrole.* — L'Etat français a dépensé 175 milliards dans les recherches de pétrole entre 1946 et 1955, dont 46 % dans les trois dernières années.

● *Le Haut-Barrage du Nil.* — Le futur Haut-Barrage sera situé à 6 km. 500 au sud de l'actuel barrage d'Assouan. La digue (en terre et cailloux) aura 5 kilomètres de longueur, dont 650 mètres au travers du lit mineur. La hauteur prévue est de 100 mètres au-dessus du lit. Le réservoir permettra de retenir 700 km.-cubes d'eau et d'irriguer plusieurs centaines de milliers d'hectares. L'usine hydroélectrique donnera 10 milliards de kW-h. par an. De nombreuses difficultés seront à surmonter avant sa construction.

La Structure Moléculaire et la Cancérisation par les Substances Chimiques [1]

par Bernard PULLMAN

Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Paris

En me demandant de faire un exposé dans cette série de conférences, M. le Professeur Bouligand m'avait précisé que le but de ces conférences était de montrer sur quelques exemples particulièrement frappants l'interdépendance de diverses sciences.

En entendant ce point de vue j'ai volontiers consenti à faire ici un exposé sur le problème de la relation entre la structure électronique et la production expérimentale du cancer à l'aide de substances chimiques. En effet, je crois que peu de sujets répondent aussi bien que celui-ci au but proposé par M. le Professeur Bouligand. Ainsi, le problème de la cancérisation par les substances chimiques est évidemment, en premier lieu, un problème de biologie. C'est aussi, hélas, un problème de médecine. C'est aussi, évidemment, un problème de chimie et là il faut ajouter, qu'en tant que problème de chimie, il touche pratiquement à toutes les branches de cette science : chimie organique (la majorité des substances actives y appartenant), chimie minérale (quelques composés actifs), chimie physique, les techniques les plus diverses de la chimie physique ayant été utilistes pour l'étude du problème de la relation entre la structure et l'activité (spectroscopie ultra-violette, infra-rouge, de fluorescence, de phosphorescence, mesures des anisotropies diamagnétiques, des potentiels d'ionisation, des potentiels de réduction, des énergies de résonance, utilisation d'isotopes radioactifs, etc.).

C'est donc, comme vous le voyez, une problème qui, effectivement, met en jeu plusieurs disciplines scientifiques différentes. Mais ce n'est pas tout. Ainsi, le fait que le problème concerne la biologie, la chimie, la physique même n'est pas étonnant. Ce qu'il a de plus frappant, c'est qu'il met aussi en jeu, et d'une façon extrêmement importante, les mathématiques et même les mathématiques supérieures. Cela a lieu par l'intermédiaire de la mécanique ondulatoire. En effet, lorsque l'on considère le problème de plus près, comme nous le ferons dans un instant,

---

(1) Conférence faite le 23 mai 1955, à l'Institut Henri-Poincaré, dans le cadre des Conférences Intersciences organisées par M. le Professeur Bouligand.

on s'aperçoit que la relation entre la structure des molécules et leur activité cancérogène concerne certainement la structure électronique, la structure fine, intime des molécules. Or l'un des meilleurs procédés que nous ayons aujourd'hui à notre disposition pour étudier cette structure est constitué par les méthodes de la mécanique ondulatoire. Et effectivement la seule théorie valable qui existe aujourd'hui sur la relation entre la structure des molécules et leur activité cancérogène repose sur l'étude de ces molécules par les méthodes de la théorie quantique. C'est le calcul qui, un des premiers, a permis d'avoir quelques lumières sur le mode d'action possible des molécules cancérogènes. Ces quelques mots suffisent, je l'espère, pour justifier la discussion de ce sujet dans cette série de conférences. Passons donc maintenant au problème lui-même.

Il y a déjà quarante ans que Yamagiwa et Ichikawa découvraient au Japon la possibilité d'induire des cancers expérimentaux en badigeonnant au goudron des oreilles de lapins, suscitant ainsi l'immense espoir de pouvoir enfin élucider l'irritant mystère de la cancérisation.

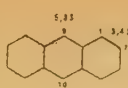
Malheureusement, cet espoir a été jusqu'ici déçu, et en un certain sens, le mystère s'est encore épaissi. Toute une branche nouvelle de la cancérologie est née avec l'étude des nombreuses substances chimiques qui se sont révélées depuis capables de produire le cancer. En fait, l'on se trouve maintenant à la tête de plus de trois mille publications sur ce sujet. Plus d'un millier de substances ont été essayées dont le tiers environ s'est montré cancérogène.

Ces substances peuvent être groupées en quelques familles principales dont la plus importante et aussi la plus vaste est celle des *hydrocarbures aromatiques polybenzéniques* et leurs dérivés auxquels je consacrerai plus particulièrement mon exposé d'aujourd'hui. En fait, je me limiterai même essentiellement aux hydrocarbures polybenzéniques non substitués, qui constituent en quelque sorte les squelettes fondamentaux. Une cinquantaine de telles molécules ont été étudiées en vue de l'activité cancérogène et leur examen suffit pour mettre en évidence les éléments essentiels du problème et de sa solution éventuelle. De cette cinquantaine de molécules fondamentales dérivent, par substitution, des centaines de composés actifs. Leur étude est bien plus difficile et complexe, mais n'introduit pas, à proprement parler d'éléments nouveaux. De toute façon il ne me serait guère possible d'en parler dans une conférence aussi courte.

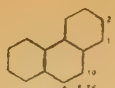
Le premier problème qui se pose au sujet de ces substances est celui d'une relation entre leur structure et leur activité — ou leur absence d'activité. Or le problème est extrêmement difficile car il suffit d'une très petite modification structurale pour faire apparaître ou disparaître le pouvoir cancérogène ou pour en modifier l'intensité.

I.
Benzène.

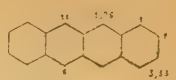
II.
Naphtalène.



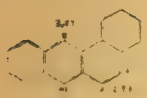
III.
Anthracène.



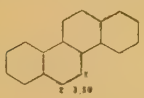
IV.
Phénanthrène.



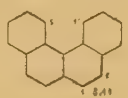
V.
Naphtacène



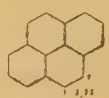
VI.
Benzo-1,2
anthracène.



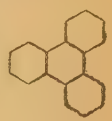
VII.
Chrysène



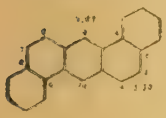
VIII.
Benzo-3, 4
phénanthrène.



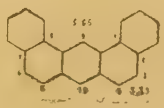
IX.
Pyrène



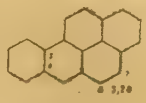
X.
Triphénylène



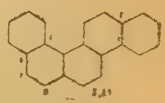
XI.
Dibenzo-1, 2, 5, 6
anthracène.



XII.
Dibenzo-1, 2, 7, 8
anthracène.



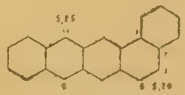
XIII.
Benzo-3, 4 pyrène.



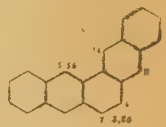
XIV
Dibenzo-1, 2, 5, 6
phénanthrène.

XV.
Dibenzo-1,2,3,4
phénanthrène.

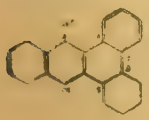
XVI.
Benzo-1,2
pyrène



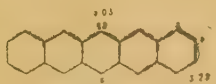
XVII.
Benzo-1, 2 naphtacène.



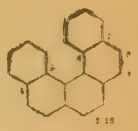
XVIII
Pentaphène.



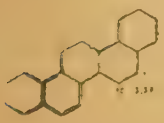
XIX.
Dibenzo-1,2,3,4
anthracène



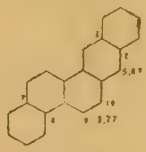
XX.
Pentacène.



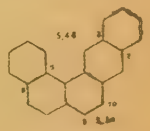
XXI.
Dibenzo-3,4,5,6
phénanthrène



XXII.
Picène.

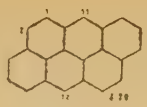


XXIII.
Dibenzo-2,3,7,8
phénanthrène.

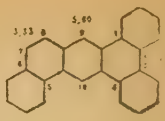


XXIV
Dibenzo-2,3,5,6
phénanthrène.

XXV.
Pérylène.

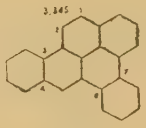


XXVI.
Anthanthrène.

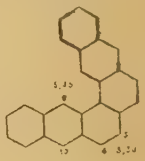


XXVII.
Tribenzo- 1,2,3,4,5
6 anthracène.

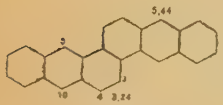
XXVIII.
Dibenzo-1,2,6,7
pyrène.



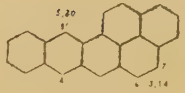
XXIX.
Dibenzo-3,4,6,7
pyrène.



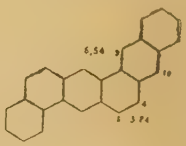
XXX.
Anthra-1',2',1,2
anthracène.



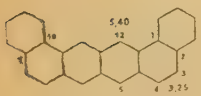
XXXI.
Anthra-2',1',1,2
Anthracène.



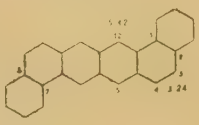
XXXII.
Naptho-2',3',3,4
pyrène.



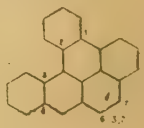
XXXIII
Phénanthra-2',3',1,2
anthracène.



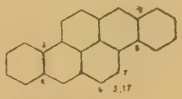
XXXIV.
Dibenzo-1,2,9,10
naphtacène.



XXXV
Dibenzo-1,2,7,8
naphtacède.



XXXVI
Dibenzo-1,2,3,4
pyrène.



XXXVII
Dibenzo-3,4,8,9 pyrène.

Fig. 1

Ainsi par exemple, dans les hydrocarbures fondamentaux non substitués le pouvoir cancérogène ne se manifeste qu'à partir de quatre noyaux benzéniques accolés (consulter la fig. 1

pour les formules des molécules mentionnées ci-après en faisant abstraction, pour l'instant, des nombres qui figurent à côté de ces formules). Mais parmi les molécules à quatre noyaux, une seule est certainement active, le benzo-3-4 phénanthrène VIII. Je dis une seule car on a quelques doutes sur une activité éventuelle du benzanthracène VI qui après avoir été pendant longtemps et dans de nombreuses expériences considéré comme inactif, a été qualifié de cancérogène dans quelques expériences assez récentes. La question n'est donc pas tranchée du point de vue biologique. De toutes façons l'activité éventuelle de cette molécule ne serait pas très forte et dans cet exposé nous la considérerons comme pratiquement dépourvue d'activité.

Maintenant, l'accolement d'un noyau supplémentaire à ce benzanthracène inactif peut, selon la position d'accolement, faire apparaître une activité, faible ou forte selon le cas d'ailleurs, ou au contraire donner naissance à une substance encore inactive.

Un benzène accolé en 7-8 fait apparaître une faible activité : le benzo-1-2-7-8 anthracène est le plus faiblement cancérogène des hydrocarbures. Un benzène accolé en 6-7 ne donne naissance, en revanche, à aucune activité pathogène, alors qu'un noyau accolé en 5-6 donne une substance assez active. Si le noyau est accolé en 3-4, en 3'-4', en 2'-3' ou en 1'-2', on n'obtient pas de substance active, mais si l'on ferme le cycle par un benzène en 1'-9 on obtient le benzo-3-4 pyrène XIII, l'un des plus forts cancérogènes connus, alors que son parent direct, le pyrène IX, es totalement inactif.

D'ailleurs, dans l'ensemble, parmi les quinze hydrocarbures possibles à cinq noyaux benzéniques accolés qui furent tous étudiés en vue d'une action cancérogène éventuelle, cinq seulement se sont avérés actifs. Ce sont, approximativement dans l'ordre d'activité décroissante : le benzo-3-4 pyrène XIII très cancérogène, le dibenzo 1,2,5,6, anthracène XI moyennement cancérogène, le dibenzo-1,2,5,6- phénanthrène XIV et le dibenzo-1-2-3-4 phénanthrène XV, faiblement actifs et le dibenzo-1,2,7,8, anthracène XII très faiblement cancérogène.

Seul un nombre limité d'hydrocarbures à six noyaux benzéniques accolés a été étudié. Parmi les composés examinés et qui figurent *tous* sur la fig. 1, deux seulement, le dibenzo-1,2,3,4 pyrène XXXVI et le dibenzo-3,4,8,9 pyrène XXXVII se sont révélés cancérogènes (d'ailleurs fortement). Finalement, peu de composés à plus de six noyaux benzéniques accolés ont été expérimentés au point de vue de leur activité physiopathologique. Néanmoins tous ceux qui furent étudiés sont inactifs.

Ainsi, dans l'ensemble, sur une cinquantaine d'hydrocarbures fondamentaux étudiés, huit seulement sont certaine-

ment cancérogènes. Ces composés actifs peuvent être divisés en trois groupes :

a) Le benzo-3-4 phénanthrène VII et ses deux dérivés benzéniques XIV et XV.

b) Les deux dibenzanthracènes XI et XII.

c) Le dibenzo-3-4 pyrène XIII et ses deux dérivés benzéniques XXXVI et XXXVII.

Cet aperçu rapide montre bien, de toute évidence, que le problème est un problème de structure fine et que c'est seulement en atteignant *la constitution intime* de ces composés que l'on peut espérer déceler éventuellement les facteurs responsables de la présence ou de l'absence du pouvoir pathogène. Il s'agit, en premier lieu, de trouver des règles de sélection qui nous permettraient de distinguer, parmi tous les hydrocarbures précités, les huit molécules actives. C'est la recherche de telles règles de sélection, par l'étude de la structure fine des molécules en relation avec l'activité pathogène, qui constitue l'objet de ma conférence d'aujourd'hui.

Ici il me faut toutefois interrompre pendant quelques minutes l'exposé même du sujet pour vous dire quelque mots sur nos conceptions actuelles en ce qui concerne la structure électronique des molécules aromatiques du type de celles dont vous venez de voir les formules.

En chimie classique cette structure est représentée d'une façon très simple par des formules qui comportent une alternance des liaisons simples et doubles le long du squelette. Ainsi, par exemple pour le benzène, on écrit habituellement la formule suivante :

Or il est bien connu qu'une telle formule est très loin de traduire, même d'une façon approximative, la structure du benzène. Un de ses défauts les plus frappants est de présenter le benzène comme une molécule asymétrique, dont les liaisons carbone-carbone ne devraient pas toutes avoir les mêmes propriétés. Or, une telle représentation est tout à fait contraire à l'expérience qui montre que le benzène est un hexagone régulier, dont les liaisons carbone-carbone sont toutes identiques et différentes, en outre, des liaisons carbone-carbone simples ou doubles classiques telles qu'elles se manifestent dans l'éthane ou l'éthylène.

Qualitativement on sort de cette difficulté en disant que le benzène peut être représenté par la deuxième formule :

complémentaire de la première et que la structure vraie de cette molécule doit être intermédiaire entre les structures symbolisées par ces deux formules simples. En fait le problème est plus compliqué car rien n'empêche de considérer que des formules telles que les trois suivantes :

représentent aussi certains aspects possibles de la structure du benzène.

D'autre part le cas du benzène est encore relativement simple, la molécule étant petite et symétrique. Le cas de ses homologues supérieurs est naturellement plus complexe, des dizaines et des centaines de formules du type classique pouvant être utilisées simultanément pour traduire leur structure.

A quoi tient ce défaut de la représentation classique de la structure moléculaire de ce type de composés ? Il tient à l'existence, dans les molécules benzéniques, d'un groupe d'électrons *délocalisés* dont il n'est guère possible de fixer avec précision, par les notations de la chimie classique, la distribution exacte. Comme vous le savez bien, un trait de valence représente, en principe, une paire électronique couplée dont la fusion crée la liaison chimique. Une formule chimique classique symbolise donc (à l'aide des traits de valence) le couplage mutuel de certains électrons de la molécule. Or, alors que certains électrons se couplent exclusivement *par paires* entre eux et forment ainsi ce qu'on appelle *des liaisons localisées*, d'autres se répartissent d'une façon moins localisée sur l'ensemble de la périphérie moléculaire. Ils constituent ce qu'on appelle des *liaisons délocalisées*. Or, l'on peut montrer que les électrons symbolisés par les liaisons doubles des schémas usuels des chimistes appartiennent justement à cette dernière catégorie d'électrons (alors que les électrons symbolisés par le squelette des liaisons simples appartiennent à la première catégorie). La multiplicité des formules susceptibles de représenter la distribution des liaisons doubles dans un composé polybenzénique est une traduction directe de cette mobilité des électrons que ces liaisons représentent. Or il s'avère, d'autre part, que ce sont ces électrons mobiles qui sont responsables de toutes les propriétés particulières des molécules aromatiques et entre autres, aussi de leurs propriétés cancérogènes.

C'est ici qu'intervient la mécanique ondulatoire. En effet ses méthodes, sur lesquelles je ne peux malheureusement pas insister ici (1) permettent de calculer *la distribution électronique*

(1) Le lecteur intéressé par le problème pourra en trouver un exposé détaillé dans un ouvrage que j'ai publié en collaboration avec Mme Pullman sous le titre « Les Théories Electroniques de la Chimie Organique », Masson édit., Paris.

vraie, c'est-à-dire la répartition réelle des électrons des liaisons doubles sur l'ensemble de la surface moléculaire. Cette répartition se traduit par des indices électroniques appropriés, associés avec les différentes liaisons et les différents atomes de la molécule parmi lesquels les plus importants sont *les indices de liaison mobile* traduisant le taux de couplage électronique le long de chaque liaison et *les indices de valence libre* traduisant le taux d'insaturation de chaque carbone. Ces indices s'expriment par des nombres fractionnaires et leur ensemble constitue, pour une molécule donnée, *son diagramme moléculaire*, traduction quantique de la formule chimique classique. A titre d'exemple, nous reproduisons ici le diagramme moléculaire du benzo-1-2 anthracène (fig. 2) :

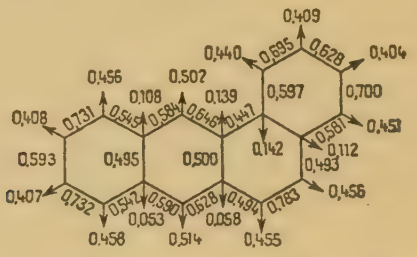


Fig. 2. — Diagramme moléculaire du benzo-1-2 anthracène.

Inutile d'insister, je pense, sur la comparaison avec la formule classique. Au lieu des liaisons doubles et simples alternantes, voici un diagramme précis, où chaque liaison et chaque atome ont des caractéristiques distinctes. Il est facile de pressentir tout le parti que l'on pourra tirer de tels renseignements, les indices précités se rattachant aux différentes propriétés des molécules.

Les indices utilisés dans l'étude de la relation entre la structure électronique des molécules et leur activité cancérogène sont malheureusement d'une classe encore plus élevée. En effet, les indices précités sont des caractéristiques de *la molécule statique*, c'est-à-dire qu'ils la décrivent dans un état isolé. Or des considérations générales sur lesquelles je n'insiste pas, montrent facilement que l'activité cancérogène des molécules est probablement en relation avec leur réactivité chimique. Or, lors de l'attaque d'une molécule par un réactif, il y a d'abord déformation du nuage électronique de la molécule attaquée sous l'influence de l'agresseur. Par conséquent il est préférable pour étudier les problèmes de réactivité chimique d'utiliser lorsqu'on

1952. On peut voir aussi pour un exposé moins technique B. Pullman : « La Structure Moléculaire », Presses Universitaires de France, Collection « Que Sais-Je ? », Paris, 1953.

le peut, *des indices dynamiques* qui décrivent les caractéristiques du complexe activité. Il est donc aussi préférable d'utiliser ce dernier type d'indices dans l'étude de la relation entre la structure et l'activité cancérogène. Parmi les indices dynamiques que l'on peut définir, ceux dont nous nous servirons sont les suivants :

1°) *L'énergie de polarisation d'un carbone* (E.P.C.) qui est l'énergie nécessaire pour localiser une charge positive, un électron ou une charge négative sur ce carbone.

Sans entrer dans les détails des conceptions qui conduisent à cette définition, on peut cependant en faire comprendre l'origine de la façon suivante : on admet que la phase transitoire d'une réaction correspond à la formation d'une liaison entre la molécule et le réactif attaquant, le signe ° indiquant une charge positive, une charge négative ou un électron célibataire selon la nature électrophile, nucléophile ou radicalaire du réactif :

Lorsque R est un réactif électrophile (ion NO_2+ par exemple) il porte une charge positive, c'est-à-dire une lacune électronique. Donc, pour que la liaison molécule-réactif puisse se former, il faut que le doublet de liaison soit tout entier fourni par la molécule attaquée. Par conséquent, il est nécessaire au préalable, d'amener le doublet sur la position attaquée. Dans le cas d'un réactif nucléophile (NH_2-,OH-) il faut au contraire amener une charge positive sur la position attaquée. Dans le cas d'un réactif radicalaire, c'est un électron qu'il est nécessaire de faire apparaître sur la position attaquée.

2°) *L'énergie de localisation d'une liaison ou énergie d'ortho-polarisation* (E.O.P.). Elle est égale à l'énergie nécessaire pour localiser un doublet électronique sur une liaison donnée, entre carbones adjacents.

3°) *L'énergie de para-polarisation* (E.P.P.) qui est l'énergie nécessaire pour fixer simultanément deux électrons en *para* l'un par rapport à l'autre.

Les méthodes de la chimie théorique permettent de calculer ces quantités qui s'expriment en fonction d'un paramètre β qui vaut environ 20 Kcal.

La théorie habituelle a tendance à admettre que les substitutions sont régies par les E.P.C. (une substitution étant d'autant plus facile que l'E.P.C. correspondante est plus faible), alors que les E.O.P. et les E.P.P. déterminent respectivement les facilités d'addition en 1-2 et en 1-4.

Une théorie plus perfectionnée a montré toutefois que l'indice le plus convenable pour rendre compte des additions sur une liaison est une combinaison de l'E.O.P. et de la plus faible des E.P.C. des carbones mis en jeu ; cet indice complexe est en fait la somme :

$$\text{E.O.P.} + (\text{E.P.C.})_{\text{minimum}}$$

En ce qui concerne les additions sur deux carbones situés en *para* l'un par rapport à l'autre, on peut définir par analogie un indice complexe

$$\text{E.P.P.} + (\text{E.P.C.})_{\text{minimum}}$$

Après cette digression, dont je vous prie de me pardonner le caractère un peu abstrait, nous pouvons aborder maintenant le problème proprement dit de la relation entre la structure électronique et le pouvoir cancérogène des hydrocarbures aromatiques.

Donc, en étudiant la structure électronique de l'ensemble des hydrocarbures, actifs ou non, que je vous ai énuméré au début de la conférence, nous avons constaté qu'ils sont caractérisés par deux régions de propriétés électroniques particulières et qui sont d'une importance spéciale pour leur réactivité chimique : ce sont d'une part la région du *type méso-phénanthrénique* (liaison 9-10 du phénanthrène) d'autre part celle du type *méso-anthracénique* (9-10 de l'anthracène), que j'appellerai respectivement régions K et L (fig. 3).

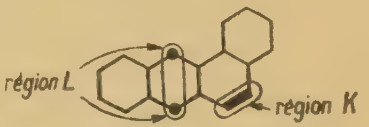


Fig. 3

La région K est celle qui est douée du plus faible indice complexe :

$$\text{E.O.P.} + (\text{E.P.C.})_{\text{min.}}$$

c'est-à-dire qu'elle est particulièrement apte aux additions du type 1-2.

La région L, de son côté, correspond aux plus faibles valeurs de l'indice complexe E.P.P. + $(\text{E. P.C.})_{\text{min.}}$; elle est donc particulièrement apte aux additions en 1-4.

Maintenant, la recherche d'une relation entre la structure électronique et l'activité cancérogène de l'ensemble de ces hydrocarbures, recherche dont je ne peux vous décrire ici les cheminements successifs, nous a conduit aux deux propositions fondamentales suivantes :

1°) *Pour être cancérogène, un hydrocarbure polybenzénique doit posséder une région K « active », c'est-à-dire d'indice complexe égal ou inférieur à un certain seuil que nous avons déterminé égal à* $3{,}31\beta$.

2°) Cette condition est *nécessaire* mais *non suffisante*. En effet, *si la molécule contient aussi une région L, il faut alors que cette région soit au contraire peu active, en fait qu'elle ait un indice complexe égal ou supérieur à* $5{,}66\beta$.

On peut interpréter l'ensemble de ces deux propositions de la façon suivante : supposons qu'une étape essentielle de la carcinogénèse soit constituée par une *réaction* entre l'hydrocarbure et un récepteur cellulaire. Cette réaction, dont nous ne précisons pas la nature *a priori* se ferait sur ou par l'intermédiaire de la région K, et, pour que la réaction se produise, il faut que cette région soit suffisamment active. Mais cette réactivité de la région K ne conduit à la cancérisation que si elle n'est pas concurrencée par la présence d'une région L très active qui risquerait d'engager la molécule dans une réaction, qui, elle, est incompatible avec la manifestation de l'activité cancérogène.

Voyons tout d'abord le sens de ces deux propositions sur quelques exemples particulièrement frappants.

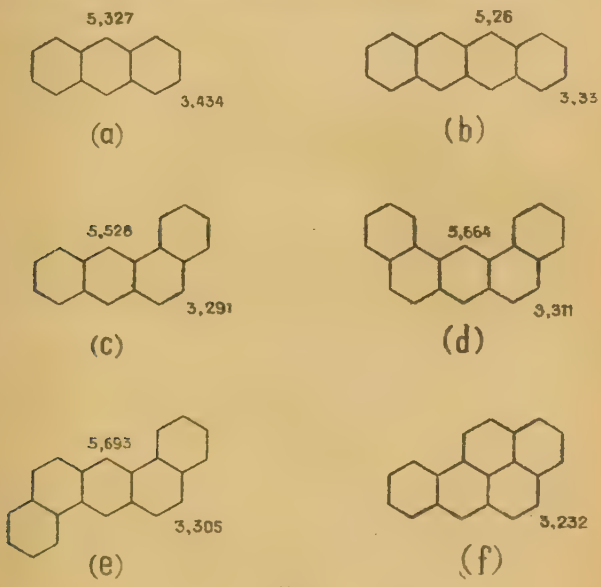


Fig. 4

L'anthracène (fig. 4a) non cancérogène, n'a pas de région K proprement dite et possède d'ailleurs une région L fortement active. Lorsque l'on accole à l'anthracène un autre noyau benzénique linéairement (fig. 4b) on accentue énormément la réactivité de la région L et l'on rend par conséquent encore plus improbable l'apparition de l'activité.

Lorsque, en revanche, on accole à ce squelette anthracénique un noyau latéral (fig. 4c) on produit deux effets différents : d'une part on crée une région K d'indice favorable à la manifestation de l'activité, d'autre part *on diminue* l'activité de la région L (pas assez toutefois pour atteindre le seuil à partir

duquel cette activité n'est plus défavorable à la manifestation de celle de la région K). Si l'on accole au benzo-1-2 anthracène un second noyau latéral en 5-6 (fig. 4d) ou en 7-8 (fig. 4e) on modifie peu la région K, mais on désactive la région L de telle sorte que le pouvoir cancérogène apparaisse. Enfin, si l'on passe au benzo-3-4 pyrène (fig. 4f) on s'aperçoit que l'on a considérablement activé la région K et que l'on a supprimé la région L : on se trouve donc dans les meilleures conditions possibles pour avoir une forte activité et effectivement, le benzo-3-4 pyrène est très fortement cancérogène.

Examinons maintenant une par une les substances de la figure 1 à la lumière de nos deux propositions. Cet examen conduit aux conclusions suivantes :

a) L'absence d'activité dans les composés III et V est due à la fois à l'absence d'une région K suffisamment active et à la présence d'une région L défavorable.

b) L'absence de pouvoir cancérogène dans les composés I, II, IV, VII, IX, X, XVI, XIX, XXI, XXII, XXV, XXVII, XXVIII et XXXIX peut être attribuée à l'absence d'une région K suffisamment active.

c) L'absence d'activité dans les composés VI, XVII, XVIII, XX, XXIII, XXIV, XXX, XXXI, XXXII, XXXII, XXXIII, XXXIV et XXXV est due à la présence d'une région L défavorable.

d) Les dibenzanthracènes XI et XII, cancérogènes, obéissent à nos deux conditions limites. Comme je l'ai déjà dit, on constate que c'est l'accolement des noyaux latéraux au cycle anthracénique qui a eu le double effet d'augmenter la réactivité de la région K et de diminuer celle de la région L, donc de favoriser les conditions qui paraissent nécessaires à l'apparition du pouvoir cancérogène.

e) L'activité du benzo-3-4 pyrène XIII et des deux dibenzopyrènes XXXVI et XXXVII, tous très cancérogènes, est immédiatement expliquée à l'aide de notre théorie : leur région K est très active et ils sont dépourvus de région L.

f) Le benzo-3-4 phénanthrène VIII et les deux dibenzophénanthrènes apparentés XIV et XV, molécules cancérogènes qui sont dépourvues de région L mais dont la région K n'est pas, en principe, assez réactive, constituent, à première vue, une exception à notre relation. En fait, ces composés possèdent certaines caractéristiques particulières qui conduisent à les considérer comme formant un groupe à part dans l'ensemble des molécules étudiées ici. En effet, tous les calculs de la figure 1 ont été effectués dans l'hypothèse que les molécules étaient parfaitement planes et dépourvues de moment dipolaire. Ces hypothèses sont, en général, justifiées sauf en ce qui concerne justement le benzo-3-4 phénanthrène dans lequel on a pu mettre en évidence récemment (rayons X, spectres d'absorption u.v.)

une déformation de structure due probablement aux interférences stériques entre les positions 1' et 5, induisant dans la molécule un faible moment dipolaire (0,7D). Ce phénomène exceptionnel, présent sûrement aussi dans XIV et XV crée des conditions dont il n'a pas été tenu compte dans les calculs et pourrait éventuellement être responsable de l'activité des molécules de ce type, l'induction d'un moment ayant certainement pour effet d'abaisser la valeur numérique de l'indice complexe de la région K. Signalons d'ailleurs que l'activité cancérogène des composés du groupe du benzo-3-4 phénanthrène présente certaines particularités expérimentales, ce qui semble confirmer notre point de vue.

g) Une autre exception est offerte par l'anthanthrène XXVI, qui, selon nos calculs, devrait être cancérogène et qui ne l'est pas. Des recherches complémentaires sont donc nécessaires à propos de ce corps. Il se peut que son absence d'activité soit due à des causes physiques. Il se peut aussi qu'elle puisse être liée au fait que, bien que dépourvue de région L, il possède deux carbones très réactifs (11 et 12) situés relativement près l'un de l'autre. Toutefois, pour l'instant, on ne saurait en décider.

h) Les résultats relatifs aux molécules à cinq et six noyaux permettent de comprendre facilement la raison de l'absence d'activité dans les molécules plus complexes. Celles-ci risquent en effet le plus souvent de posséder une région L défavorable (cas des molécules allongées) et quelquefois de manquer de région K favorable (cas des molécules trop condensées). Il est difficile d'imaginer des molécules volumineuses satisfaisant aux conditions que nous avons imposées aux régions K et L.

Ainsi nous sommes donc arrivés à obtenir une relation précise entre les caractéristiques électroniques bien définies et quantitativement évaluées des hydrocarbures polybenzéniques et leur activité cancérogène. A part trois composés dans lesquels se manifestent des effets stériques particuliers, la théorie ne laisse subsister sur tous les autres corps expérimentés qu'une seule exception. Ajoutons que pour les cinq hydrocarbures cancérogènes exempts d'effets stériques, la théorie reproduit quantitativement l'ordre relatif de leurs activités cancérogènes.

Nous allons voir maintenant que la théorie est susceptible d'une vérification expérimentale chimique. Plus précisément la théorie entraîne implicitement certaines conséquences pour la réactivité chimique de ces composés, conséquences que l'expérience doit permettre de vérifier si la théorie est correcte.

En effet, pour qu'une molécule soit cancérogène, la théorie demande une région K active et une région L peu active. Or le choix même des indices qui nous ont servi pour définir cette « activité » des régions implique des conséquences directes sur la réactivité chimique puisque ce sont les indices qui rendent

compte de l'aptitude de ces régions aux additions. Il s'ensuit que les molécules cancérogènes devraient être réactives vis-à-vis des additions se faisant sur la région K et, au contraire, peu ou pas réactives vis-à-vis des additions se faisant sur la région L. En outre, la réactivité vis-à-vis des substitutions qui, elles, mettent en jeu non pas des régions mais des centres actifs des molécules, ne devrait pas être relié de façon monotone avec le pouvoir cancérogène.

Nous allons voir que l'expérience chimique confirme entièrement ce point de vue. Naturellement cette expérience n'a pas été effectuée pour tous les composés qui nous intéressent mais, heureusement, elle l'a néanmoins été pour des composés assez représentatifs pour nous permettre d'en tirer des conclusions générales.

1°) *Réactivité de la région L.*

Les additions moléculaires les mieux connues qui se font sur la région L sont :

a) la fixation de l'anhydride maléique ;

b) la photoxydation.

Or, l'expérience montre que :

a) La facilité de fixation d'anhydride maléique décroît dans la série anthracène > benzo-1-2 anthracène > dibenzo-1-2-5-6 anthracène > benzo-3-4 pyrène. Ceci est conforme à la théorie. En revanche la naphtacène et le pentacène, non cancérogènes, sont très réactifs vis-à-vis de l'anhydride maléique (plus que l'anthracène).

b) La photoxydation est très facile dans les *acènes* (anthracène, naphtacène) non cancérogènes, plus difficile lorsque l'on accole des noyaux latéraux : le dibenzanthracène ne réagit plus. Le benzopyrène ne réagit pas du tout non plus. Ces faits sont encore conformes aux prévisions théoriques.

2°) *Réactivité de la région K.*

C'est le développement de la théorie qui a attiré l'attention sur la réactivité de la région K, et la réaction qui a été la plus étudiée est l'addition de $0s0_4$. L'ordre croissant de réactivité vis-à-vis de cet agent est, parmi les composés étudiés : phénanthrène < pyrène < benzo-1-2 anthracène < dibenzo-1-2-5-6 anthracène < benzo-3-4 pyrène. Cet ordre est parallèle à l'ordre d'activité cancérogène croissante. *Ainsi, grâce à la suggestion de la théorie, on a mis en évidence, pour la première fois, une réaction chimique dont la facilité évolue parallèlement à l'activité cancérogène.*

3°) *Réactivité vis-à-vis des substitutions.*

Les substitutions se font non sur des régions globales mais sur des centres actifs, c'est-à-dire sur des carbones isolés. En

accord avec les principes de la théorie aucune relation homogène (parallélisme ou antiparallélisme) n'existe entre le pouvoir cancérogène des molécules et leur aptitude aux substitutions (couplage diazoïque, thiocyanuration, action du monochlorure de soufre, du peroxyde de benzoyle, etc.). Ainsi, par exemple, l'anthracène non cancérogène et le benzo-3-4 pyrène très cancérogène sont tous deux en général très réactifs, vis-à-vis des substitutions précitées.

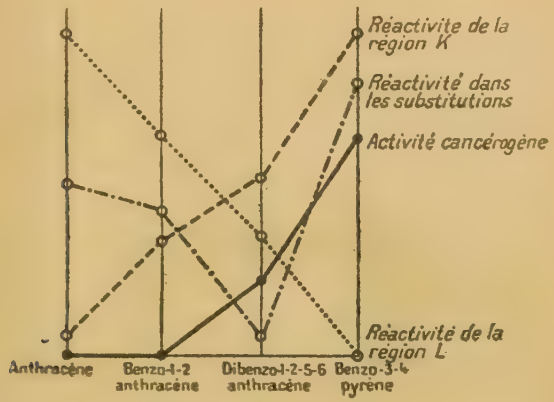


Fig. 5

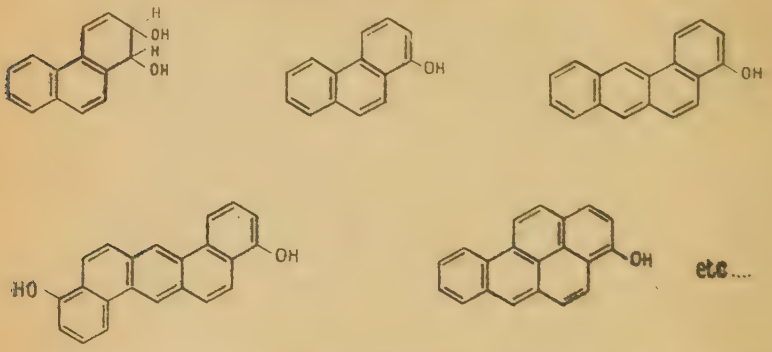
La figure 5 résume d'ailleurs schématiquement le comportement des quatre molécules particulièrement représentatives dans les différentes activités considérées ici. Les comportements parfois identiques et parfois totalement différents du dibenzo-1,2,5,6 anthracène et du benzo-3,4 pyrène, tous deux cancérogènes, ou les comportements parfois identiques de l'anthracène, non cancérogène et du benzo-3-4 pyrène, cancérogène, sont restés inexpliqués jusqu'ici. La théorie que nous proposons fournit une interprétation complète de ces phénomènes.

Il semble donc que nous soyons en possession d'une théorie qui établisse une corrélation entre l'activité cancérogène des hydrocarbures et, d'une part, leur *structure électronique*, et d'autre part, leur *réactivité chimique*.

Il y a encore un troisième domaine dans lequel la théorie apporte une contribution importante, c'est celui de la *réactivité métabolique*.

Plusieurs questions peuvent d'ailleurs être soulevées en relation avec ce problème. Nous ne nous en occuperons que d'une seule, en relation très étroite avec l'aspect de la théorie présentée jusqu'ici.

Les produits métaboliques les plus importants qui ont pu être isolés jusqu'ici à partir des hydrocarbures aromatiques sont des dihydrodiols ou des phénols du type suivant :

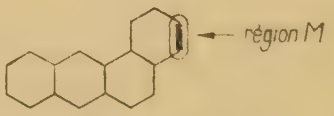


Les dihydrodiols se déshydratant d'une façon générale facilement en phénols, on considère que, dans tous les cas, ce sont les diols qui constituent le produit essentiel du métabolisme et qu'ils se transforment ultérieurement en phénols.

Ce point admis, il reste à expliquer deux faits particulièrement frappants et surprenants :

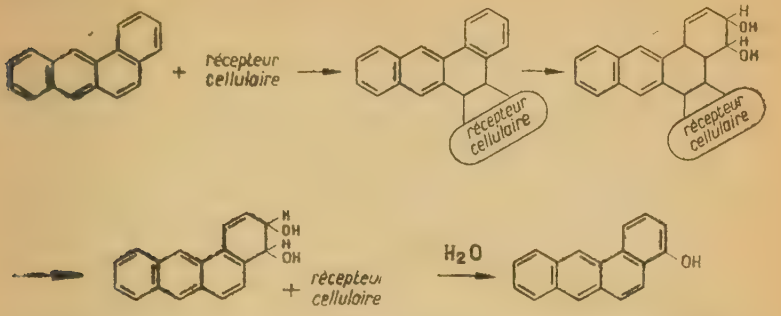
1°) La région mise en jeu lors du métabolisme ne fait intervenir aucune des régions habituellement les plus réactives des molécules étudiées (régions K ou L).

2°) La position finale de l'hydroxyle se trouve, en général, sur des carbones voisins de la région K, en des positions analogues. Appelons région M la région mise en jeu dans le métabolisme.



Pour expliquer cet état de fait, on est tenté alors d'avancer l'hypothèse suivante : l'oxydation métabolique ne se ferait pas sur la région K parce que celle-ci serait engagée antérieurement à cette oxydation dans une autre réaction avec un élément cellulaire (formation d'un composé d'addition), ce qui la rendrait indisponible. De plus la formation d'un complexe d'addition sur la région K aurait pour effet de perturber le nuage électronique de l'ensemble, de manière à faire apparaître de nouveaux centres réactifs situés ailleurs qu'ils n'étaient dans la molécule initiale. Il paraît naturel de supposer que cette activation se ferait sentir en des positions voisines de la région K. Selon cette

hypothèse on pourrait alors schématiser le processus métabolique de la façon suivante :



Une telle hypothèse cadre parfaitement avec la théorie que nous avons exposée tout à l'heure. Cependant il reste à démontrer que lors de la formation d'un composé d'addition cellule-hydrocarbure à travers la région K, c'est bien la région M qui est activée.

Une telle démonstration est nécessairement difficile car nous ignorons quelle est la nature exacte du complexe formé sur la région K. Par conséquent pour calculer la perturbation produite dans le nuage électronique par la formation de ce complexe, nous sommes obligés d'adopter un certain modèle plausible. Plusieurs tentatives ont été faites et il semble que la plus satisfaisante soit celle qui admet un étalement partiel du nuage électronique de l'hydrocarbure vers la cellule (fig. 6) et en particulier le long des liaisons qui l'attachent à la cellule. Ces liaisons acquéreraient un certain indice mobile si bien que l'ensemble du nuage électronique de l'hydrocarbure prendrait une configuration du type quinonique.

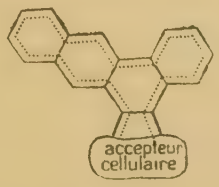


Fig. 6

On peut alors calculer la structure d'un tel nuage électronique en l'assimilant simplement à celui d'une *orthoquinone*. Il est bien évident que la déformation du nuage est, dans ce cas, poussée à l'extrême et que l'effet est exagéré, mais le sens général de l'effet est obtenu.

Sans insister sur les détails des résultats obtenus on peut signaler qu'ils rendent effectivement compte d'une activation réactionnelle de la région M : la plus forte concentration des

charges se trouve, dans une telle *orthoquinone*, sur le carbone 3', donc sur la région M. Par conséquent la région M constitue dans un tel système le centre principal d'attaque pour des agents électrophiles.

Le résultat est intéressant d'ailleurs à plusieurs points de vue. En particulier outre le fait qu'il rend compte de l'emplacement de la perhydroxylation métabolique il apporte aussi des suggestions sur son mécanisme possible. En effet, étant donné la structure des diols isolés (qui sont des *trans*-diols) il existe deux mécanismes particulièrement plausibles pour leur formation :

a) attaque de la région M par des radicaux libres OH ;

b) formation intermédiaire d'un époxyde suivie d'une hydrolyse enzymatique.

Or les caractéristiques électroniques, prévues théoriquement pour la région M, sont nettement en faveur du deuxième mécanisme. En effet, la formation d'un époxyde peut être provoquée par l'action d'agents électrophiles. En revanche, les caractéristiques de la région M ne la rendent nullement très sensible aux attaques par des radicaux libres OH.

Il me faut arrêter ici mon exposé (1). J'espère vous avoir persuadé que la contribution de la théorie à l'élucidation du mécanisme d'action des hydrocarbures cancérogènes est loin d'être négligeable.

En fait, comme je l'ai déjà mentionné au début de cette conférence, la théorie présentée ici est pratiquement la seule valable qui existe aujourd'hui dans ce domaine. Elle prouve que le problème de l'action cancérogène des molécules est selon toute probabilité un problème de réactivité chimique, et elle indique même les différentes formes de la réactivité chimique qu'il convient de prendre en considération. Quand on a eu sous les yeux l'énorme littérature qui fut consacrée à la recherche, toujours infructueuse, de corrélations entre l'activité cancérogène des hydrocarbures et toutes sortes de leurs propriétés physicochimiques, on se rend compte du progrès décisif dont on est redevable à la théorie. L'exemple montre donc bien, je pense, que les mathématiques et la biologie sont loin d'être aussi séparées les unes des autres qu'elles ne le paraissent à première vue, et que des conceptions théoriques nées d'une science aussi abstraite qu'est la mécanique ondulatoire peuvent jouer un rôle décisif dans des problèmes aussi matériels et humainement importants, qu'est le problème du cancer.

Bernard PULLMAN.

(1) Les personnes intéressées par le sujet peuvent en trouver une description beaucoup plus détaillée et précise dans un ouvrage que je viens de publier, très récemment, en collaboration avec Mme Pullman, sous le titre « La cancérisation par les substances chimiques et la structure moléculaire », Masson, édit., Paris, 1955, 300 pages.

L'ÉVOLUTION DE LA GÉOLOGIE AU XX^{e} SIÈCLE

par Raymond FURON

La Géologie a pris une très grande place dans la vie économique moderne et personne n'ignore plus son rôle éminent. Notre propos est d'en exposer l'évolution depuis cinquante ans, après avoir rappelé ce qu'elle était à la fin du XIX^{e} siècle.

Les Sciences de la Terre avaient attiré l'attention d'un certain nombre d'esprits curieux depuis l'Antiquité jusqu'à la fin du XVII^{e} siècle, mais ce n'est qu'au XVIII^{e} siècle que nous trouvons les véritables précurseurs de la Géologie moderne.

LA GÉOLOGIE AU XIX^{e} SIÈCLE

Les auteurs du XVIII^{e} siècle n'ont rien résolu, mais ils ont déjà posé un certain nombre de problèmes : le rôle des fossiles dans la chronologie relative, les subdivisions stratigraphiques, le rôle de l'orogénie dans la détection des grandes coupures, l'origine des roches éruptives et la chronologie chiffrée.

Au XIX^{e} siècle, les observations se multiplient, la Géologie devient une science et un corps de doctrine se constitue. La Paléontologie et la Pétrographie vont devenir des disciplines voisines, mais relativement indépendantes.

L'échelle stratigraphique.

Pendant longtemps, on ne distingua que des terrains « primitifs » sans fossiles et des terrains « secondaires » fossilifères. Au début du XIX^{e} siècle, on commença à établir des divisions de second ordre, mais la division en *étages*, qui nous est familière, n'a été établie qu'en 1850 par Alcide d'Orbigny, dans ses deux ouvrages : *Cours élémentaire de Paléontologie et de Géologie stratigraphique* (1849) et *Prodrome de Paléontologie stratigraphique et universelle des Animaux mollusques et rayonnés* (1850-1852).

Les progrès de la Paléontologie stratigraphique furent dès lors très rapides, chaque *étage* et même chaque *zone*, étant bien définis par des faunes ou des flores fossiles.

Les premiers essais furent regroupés par Mayer-Eymar, puis par E. Renevier en 1873-74. En 1893, Munier-Chalmas et A. de Lapparent proposent une échelle stratigraphique uniforme pour le monde entier. L'année suivante, au Congrès Géologique inter-

national de Zürich, E. Renevier présente son « Chronographe géologique », lequel était une édition perfectionnée de son tableau de 1874, enrichie de beaucoup de nouveautés, d'un texte explicatif et d'un Répertoire stratigraphique universel auquel on a encore recours.

Il a donc fallu attendre les dernières années du XIX^e siècle pour être en possession d'une échelle stratigraphique utilisable et de valeur internationale, rendant compte de la succession des dépôts, des faunes et des flores.

La Géochronologie.

L'échelle stratigraphique intéressait uniquement les terrains fossilifères, depuis la base du Primaire, mais ne donnait aucune idée de la durée des temps géologiques.

La durée réelle, calculée en unités de temps, en années, est l'objet de la *Géochronologie,* terme créé en 1893 par le géologue américain H. S. Williams. Diverses études avaient été entreprises dans ce sens. On rechercha les causes de la période glaciaire du Quaternaire dans un changement de l'inclinaison de l'axe des pôles et de l'évolution des phénomènes astronomiques dont on pouvait calculer la durée. En 1875, Croll trouva un million d'années pour la durée du Quaternaire, chiffre qui ne sera guère modifié par la suite. De son côté, G. K. Gilbert, étudiant le Crétacé du Colorado, y observa des alternances de faciès qu'il rattacha à la précession des équinoxes. Ce calcul d'après la vitesse de sédimentation le conduisit au chiffre de vingt millions d'années pour la durée du Crétacé.

En Angleterre, Ch. Lyell étudia la vitesse relative de l'évolution d'après les faunes fossiles. Il trouve quatre-vingts millions d'années pour la durée du Tertiaire, deux cent quarante pour le début des temps primaires.

Il y eut bien d'autres chiffres et beaucoup de controverses, mais l'important était d'avoir envisagé l'immense durée des temps géologiques, qui devait être pensée en millions et en centaines de millions d'années.

Les théories orogéniques.

Les déformations de l'écorce terrestre et la surrection des chaînes de montagnes ont naturellement passionné tout le XIX^e siècle. On peut résumer en disant qu'il y eut trois étapes : Léopold de Buch, Elie de Beaumont, Marcel Bertrand.

Léopold de Buch expliqua les montagnes par des mouvements verticaux, qu'il appela *cratères de soulèvement.*

Après H.-B. de Saussure, Elie de Beaumont s'appuie, comme ses contemporains, sur la théorie de la contraction du globe terrestre et il explique les plissements par des *mouvements tan-*

gentiels obtenus par *compression bilatérale*. Cette nouvelle théorie fut appliquée par le géologue suisse Albert Heim, en particulier.

Quant à Marcel Bertrand, inspiré par les travaux d'Albert Heim sur les Alpes de Glaris et de Gosselet sur le bassin houiller franco-belge, il affirma en 1894 la généralité des phénomènes de recouvrement, de plis couchés, de charriages, dans toutes les grandes zones plissées.

Les formes du terrain.

Les formes tectoniques élémentaires et les formes topographiques avaient besoin d'être nommées. Cette recherche d'un vocabulaire provoqua la publication de deux volumes essentiels, parus tous deux en 1888 : *Les formes du Terrain*, par Emmanuel de Margerie et le général de La Noë, et *Dislocations de l'écorce terrestre. Essai de définitions et de nomenclature*, par Emmanuel de Margerie et Albert Heim.

Les Cartes géologiques.

Dans la seconde moitié du XIX^e siècle, tous les pays civilisés eurent un Service de la Carte géologique, la reconnaissance géologique du Globe commença et Jules Marcou se hasarda, en 1861, puis en 1873, à publier une *Carte géologique de la Terre* en huit feuilles.

La Face de la Terre.

Paléontologie et Pétrographie firent aussi d'immenses progrès et le XIX^e siècle se termina avec la publication monumentale du géologue autrichien Edouard Suess : *La Face de la Terre*, qui résumait toute la connaissance géologique de l'époque.

LA GÉOLOGIE AU XX^e SIÈCLE

Le XIX^e siècle s'était terminé dans une sorte d'euphorie générale, le monde savant étant relativement persuadé d'avoir résolu les problèmes essentiels. Ces problèmes essentiels étaient enseignés, ce qui n'était pas de nature à provoquer des vocations, si l'on en croit W. Kilian, professeur à l'Université de Grenoble, qui y pensait encore en 1898, écrivant qu'« on assistait à de fastidieuses énumérations d'étages et de noms de fossiles, dont la nomenclature semblait être le but suprême proposé à la curiosité des auditeurs. Leur apparente inutilité rebutait les vocations et lassait les bonnes volontés. »

C'est qu'au fond, les géologues du XIX^e siècle n'étaient pas encore en possession de toutes les méthodes qui allaient permettre à leurs successeurs de bien mieux comprendre la vie de la Terre.

Au milieu du XX^e siècle, l'enseignement de la Géologie n'est plus une triste promenade dans une nécropole, catalogues en main, mais c'est la résurrection des anciens mondes vivants recréés par les géologues de toutes disciplines.

C'est que, durant la première moitié du XX^e siècle, la Géologie a subi des orientations nouvelles, grâce à l'apport vivifiant d'autres sciences : biologie, chimie, physique et astrophysique. Les moyens d'investigation se sont multipliés.

LES MOYENS D'INVESTIGATION ET DE DOCUMENTATION

Les moyens d'investigation

Pratiquement le géologue du XIX^e siècle disposait d'un marteau et d'une loupe. Cela lui permettait de recueillir des roches et des fossiles aux affleurements. La pratique des sondages était peu développée. Au contraire, au XX^e siècle, les besoins techniques, tels que la recherche des nappes d'eau souterraines, des minerais et du pétrole, ont nécessité des recherches bien plus profondes et plus précises. On eut *besoin* d'établir des coupes de tous les bassins sédimentaires. La pratique des sondages s'est dès lors beaucoup développée et les pétroliers ont atteint des profondeurs étonnantes : 3.000 mètres sous le Bassin de Paris, 4.000 en Aquitaine, 4.300 en Algérie, et même 5.940 mètres dans l'Oklahoma, aux Etats-Unis, en 1947.

Le perfectionnement de l'outillage permet de remonter des échantillons de la profondeur, de telle sorte que des coupes complètes sont établies, appuyées sur la nature des roches, sur les fossiles, y compris les micro-fossiles, les Foraminifères, dont l'étude a pris beaucoup d'importance en stratigraphie.

Encore est-il que les sondages profonds étant très coûteux, on ne les implante qu'avec précaution, en des points choisis par les géologues. La question est de savoir, avant de commencer, ce que l'on va trouver en profondeur. C'est un ingénieur français, Charles Schlumberger, qui eut l'idée d'apporter les possibilités de la physique à cette *recherche indirecte* et il devint ainsi le créateur de la géophysique stratigraphique et tectonique, à laquelle les Anglais, les Allemands et les Américains donnèrent une vive impulsion.

On ne peut ici que rappeler très brièvement l'existence de quatre méthodes principales. La *méthode gravimétrique* enregistre les anomalies de la pesanteur, décelant ainsi en profondeur les dômes de sel ou des anticlinaux. La *méthode séismique* consiste à étudier la propagation et la réflexion des ondes provoquées par une explosion en un point de la surface du sol. La *méthode électrique* est basée sur les différences de conductibilité électrique des diverses couches géologiques, tandis que la

méthode magnétique (la plus ancienne) permet d'établir des cartes d'anomalies.

Ajoutons à cela les possibilités de l'avion, qui permet de voir de grandes surfaces, de déceler des failles qui sont invisibles à terre, et d'utiliser certaines méthodes géophysiques.

Les Océans (72 % de la surface du Globe) restaient inconnus au point de vue géologique. Les méthodes géophysiques donnent certains aperçus sur la constitution des fonds. La pratique des sondages sous-marins permet de remonter des carottes de douze à quinze mètres, ce qui n'est pas énorme, mais laisse tout de même traverser toutes les formations quaternaires, où l'on distingue des niveaux successifs à Foraminifères « chauds » et « froids ».

Les applications de la Radioactivité sont multiples en Géologie. La plus sensationnelle est évidemment celle qui permet de déterminer l'âge exact des roches, en années. La Géochimie prend aussi un essor brusque, tandis que l'amélioration des moyens de transport permet de gagner du temps et facilite la reconnaissance géologique du Globe entier, y compris les régions polaires.

Enfin, on ne saurait passer sous silence le perfectionnement des méthodes d'étude au laboratoire, qui permettent de comprendre les faunes, les flores, leur milieu, les sédiments et leurs conditions de dépôt.

Les problèmes de la documentation

Les études des géologues sont imprimées dans des livres et plus souvent dans des périodiques, organes de Sociétés savantes, d'Etablissements scientifiques ou de Services administratifs.

Au XIX^e siècle et au début du XX^e, le géologue pouvait prendre une connaissance personnelle de la quasi-totalité de la production scientifique qui l'intéressait, se tenir parfaitement au courant et rédiger tout seul un Traité de Stratigraphie générale, comme put encore le faire Emile Haug en 1908.

Le milieu du XX^e siècle pose de nouveaux problèmes. Le nombre de publications augmente sans cesse. On peut estimer que les Sciences de la Terre font l'objet de 10 *à* 15.000 *notes et mémoires par an*, ce qui, à une moyenne de dix pages par unité, représente un minimum de 100.000 pages, ce qui dépasse d'assez loin les possibilités de lecture...

Pour connaître les titres de ces études, on publie bien des bibliographies annuelles à l'échelle du monde, mais elles ne sont complètes que dans la mesure où leurs collaborateurs disposent eux-mêmes d'une documentation complète, et ce ne peut être que l'œuvre d'un organisme international.

A cette première difficulté, vient s'ajouter celle des langues. En 1900, beaucoup d'auteurs étrangers, désireux d'être lus, écrivaient en anglais, en français ou en allemand, ou bien faisaient suivre leur publication dans la langue nationale d'un résumé en une des trois langues de travail. En 1950, à de rares exceptions près, les nationalismes sont déchaînés et chacun publie dans sa langue. L'énorme production de l'U.R.S.S. pose un problème quotidien aux chercheurs. Il s'y ajoute des publications fort importantes en chinois, en flamand, en hongrois, etc.

Le temps n'est plus où l'homme de science pouvait penser tout seul dans un bureau vide et inventer des théories nouvelles. Il s'agit maintenant d'être très documenté avant d'entreprendre la moindre recherche, sous peine de travailler dans le vide ou de s'égarer dangereusement.

Le *Centre de documentation géologique et paléontologique,* dirigé par Jean Roger, réussit, malgré des moyens très insuffisants, à faciliter, en France, cette recherche de la documentation, mais la solution de ces problèmes résiderait dans une modification totale de structure et d'habitudes, sans oublier l'aide financière de l'Etat, responsable du développement scientifique de la nation. Chaque spécialiste devrait avoir à sa disposition un groupe de collaborateurs techniques instruits : informateurs, lecteurs, traducteurs et commentateurs, lui permettant de consacrer son temps au travail créateur et non pas à la recherche problématique d'une documentation éparse ou hors de portée.

C'est là un des problèmes essentiels de la recherche de demain.

LA RECONNAISSANCE GÉOLOGIQUE DU GLOBE

C'est au XX^e siècle que la reconnaissance géologique du Globe a été systématiquement entreprise. Elle n'est pas encore achevée, mais déjà certains continents comme l'Europe, l'Amérique du Nord, l'Afrique et l'Australie ont pu faire l'objet de cartes d'ensemble.

Les études stratigraphiques, pétrographiques et paléontologiques ont été très poussées et les connaissances du siècle précédent ont été totalement renouvelées, même dans les régions que l'on croyait connues. Lorsque Paul Lemoine publia sa « Géologie du Bassin de Paris », en 1911, il ne manqua pas de souligner combien peu de choses on connaissait par rapport aux énormes lacunes à combler. Effectivement, thèses et mémoires vont se succéder pendant quarante ans, renouvelant complètement le sujet. Rappelons ceux de R. Abrard sur le Lutétien, Mlle Alimen sur le Stampien, Feugueur sur le Sparnacien et le Cuisien, J. et L. Morellet sur le Bartonien, R. Soyer sur le

Montien et la géologie de la Ville de Paris ; on y ajoutera ceux de B. Brajnikov sur l'argile à silex, de A. Bonte et G. Corroy sur le Jurassique et le Crétacé de l'Est, d'A. Bigot sur la Normandie, G. Denizot sur l'Orléanais, sans oublier l'Atlas des fossiles éocènes de Cossman et les travaux de P. Pruvost sur les marges primaires.

Ces progrès se sont étendus à toute la France où l'on découvre successivement des étages entiers, restés insoupçonnés.

Il en fut de même dans le monde entier, même dans des pays dépourvus de tout organisme de recherche scientifique. Il faut souligner ici l'influence déterminante de la « Géologie appliquée » exigeant les recherches de la « Géologie pure ». Comme on ne peut pas faire de prospection utile sans stratigraphie, celle-ci a fait des progrès dans des pays dont on ne saurait rien si l'on n'y avait cherché des minerais ou du pétrole, comme l'Iraq ou l'Arabie séoudite.

Malgré les difficultés d'accès, les déserts et les chaînes de montagnes ont livré une partie de leurs secrets.

Peu à peu l'histoire de la Terre a été suffisamment connue pour que l'on se hasarde à décrire la genèse et l'évolution des continents et des océans. C'est toute l'histoire des transgressions et des régressions marines, des continents disparus, des surrections de chaînes de montagnes, des grandes fractures, des migrations de faunes marines ou continentales. C'est l'objet de la *Paléogéographie*, qui se trouve elle-même à la base de la ***Biogéographie.***

Nous ne nous étendrons pas sur ce chapitre, puisque c'est le mieux connu et le moins surprenant, représentant les progrès de la Stratigraphie.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

E. Haug. — *Traité de Géologie*, 1908-11 (Colin). — M. Gignoux. — *Géologie stratigraphique*, 4^e édit., 1950 (Masson). — L. Bertrand. — *Histoire géologique du sol français*, 1944-46 (Flammarion). — R. Abrard. — *Géologie du Bassin de Paris* (Payot), 1950. — *Géologie de la France* (Payot), 1948. — J. Goguel. — *Géologie de la France* (P. U. F.), 1950). — von Bubnoff. — *Geologie von Europa*, 4 vol., 1926-45. — Krenkel. — *Geologie Afrikas*, 3 vol. (1925-38). — R. Furon. — *Géologie de l'Afrique* (Payot), 1950. — K. Leuchs. — *Geologie Asiens*, 2 vol., 1935. — H. Gerth. — *Geologie Südamerikas*, 2 vol., 1933. — C. Schuchert. — Palaeogeography of North America. *Bull. Soc. Geol. America*, 1909-10. — T. E. W. David. — *Geology of the Commonwealth of Australia*, 3 vol. et Atlas, 1952. — W. Fairbridge. — *Antarctica*, 1949. — R. Furon. — *La Paléogéographie. Essai sur l'évolution des continents et des océans* (Payot), 1941. — H. et G. Termier. — *Histoire géologique de la Biosphère* (Masson), 1952. — *Formation des continents et progression de la vie* (Masson), 1954. — J. Bourcart. — *Géographie du fond des mers*, 1947. — *Les frontières de l'Océan*, 1953. — Ph. H. Kuenen. — *Marine Geology*, 1950.

ÉCORCE TERRESTRE ET GÉOCHIMIE

L'écorce terrestre est composée de roches sédimentaires et de roches éruptives.

Leur étude a été très activement poussée et, chose curieuse, elle n'a pas abouti à des classifications vraiment satisfaisantes, malgré le perfectionnement des moyens d'étude. Les traités de Pétrographie en portent la trace, mais du moins toutes les roches ont-elles été analysées à tous les points de vue, physiques et chimiques. Les roches ont été étudiées tant dans la nature qu'au laboratoire, de telle sorte que l'on commence à avoir des idées sur leur genèse et sur leur évolution, mais l'espèce pétrographique reste mal définie. Il y a deux roches éruptives essentielles : le granite et le basalte.

Le métamorphisme régional qui atteint tous les sédiments géosynclinaux situés à plus de cinq kilomètres de profondeur paraît bien provoqué par des réactions à l'état solide engendrées par les conditions de température et de pression. Les sédiments sont progressivement transformés en schistes cristallins. Lorsqu'on arrive à de grandes profondeurs, de l'ordre de 10/20 kilomètres, on ne trouve plus que des gneiss, puis des *granites*, terme ultime du métamorphisme. Ce sont là les granites d'*anatexie* qui apparaissent en immenses massifs passant irrégulièrement aux schistes cristallins.

Mais il y a d'autres granites, intrusifs, qui se présentent en massifs parfaitement circonscrits, entourés d'une auréole de métamorphisme. Le granite peut aussi devenir fluide et passer au microgranite et aux rhyolithes.

Il y a toute une géologie du granite, ou des granites, qui n'en est qu'à ses débuts. Le microgranite a été reproduit expérimentalement par J. Wyart, à la Sorbonne, en 1955.

Les granites sont considérés comme plus radioactifs que les autres roches, mais il faut bien rappeler la concentration des substances radioactives par la matière vivante. Ceci est valable aussi bien pour les boues marines actuelles que pour les schistes ampélitiques d'origine marine signalés par G. Muchemblé dans le bassin houiller du Nord de la France.

Enfin, parmi les roches d'épanchement, c'est le basalte qui tient la vedette. Grâce à des éruptions fissurales, il a recouvert des surfaces immenses de l'écorce terrestre, à diverses époques.

La Géochimie

Nous avons dit que la Pétrographie apportait une multitude de documents sur la genèse et l'évolution des roches et que l'on connaît bien leur composition chimique.

La composition chimique de l'ensemble de l'écorce terrestre est un sujet qui a préoccupé les géologues depuis longtemps.

Dès le mois de juillet 1847, Elie de Beaumont publiait une note sur les « émanations volcaniques et métallifères » donnant des indications sur « la distribution des corps simples dans la nature ». Il avait d'ailleurs déjà au moins un précurseur qu'il cite, le géologue anglais H. T. de La Bèche dans ses *Researches in theorical Geology*. .

En 1883, Albert de Lapparent donnait déjà des indications assez précises sur l'importance des silicates dans la constitution de l'écorce terrestre. Les études spécialisées vont commencer en 1889, en Amérique, avec les premières publications de F. W. Clarke dans le « Bulletin de la Société philosophique de Washington ». Pendant de longues années, F. W. Clarke et ses collaborateurs, H. S. Washington surtout, vont dépouiller toutes les analyses de roches, publiant les « *Data of Geochemistry* » dans le « Bulletin du Service géologique des Etats-Unis », aboutissant à la « *Composition de l'écorce terrestre* » de 1924. Ce document reste une base très solide, qui a naturellement subi des retouches, car il ne concernait que les éléments les plus importants : oxygène, silicium, alumine, fer, calcium, sodium, potassium, magnésium, etc. Les teneurs en éléments plus rares comme le cuivre, le plomb, le zinc, le cobalt, étaient publiées en Allemagne par Vogt, en 1898.

Utilisant les chiffres de Clarke et de Vogt, L. de Launay put présenter un état de la question dans son « *Traité de Métallogénie* » en 1913.

Par la suite, on a les travaux de Vernadsky, puis le célèbre traité de Géochimie de A. E. Fersman, « *Geokhimia* », publié en russe et qui, malheureusement, n'a jamais été traduit complètement en français. H. Schneiderhöhn en Allemagne (en 1934), puis P. Ramdohr en 1942, utilisent les chiffres de Fersman en les corrigeant légèrement.

A partir de ce moment, V. M. Goldschmidt, en Norvège, va publier d'importants travaux, grâce à ses analyses spectographiques. Son Tableau, publié en 1937, conserve la plupart des chiffres de Clarke et de Washington, mais corrige les données relatives aux éléments rares.

On cite ensuite les travaux américains de Sandel et Goldich (1943), Mason (1952), puis surtout ceux des Finlandais K. Rankama, et Th. G. Sahama (1952 et 1954).

On possède maintenant la liste des 92 premiers éléments chimiques dont le nombre atomique va de 1 pour l'Hydrogène à 92 pour l'Uranium. La liste s'arrête à 92, mais il existe pourtant des éléments transuraniens, inconnus dans la Nature, mais qui ont été produits artificiellement, allant de 93

à 98 : Neptunium, Plutonium, Americium, Curium, Berkelium, Californium. Les deux premiers existent peut-être en quantités infinitésimales, les autres n'existent peut-être pas encore, quoique les éléments 99 et 100 (Einsteinium et Fermicum) aient été découverts dans les cendres de l'explosion de la bombe H (1952).

Sur les tableaux de répartition de ces éléments dans les matériaux de l'écorce terrestre, on les représente dans l'ordre de l'échelle de Mendeleef, le numéro d'ordre étant le nombre atomique, c'est-à-dire le nombre d'électrons qui sont supposés graviter autour du noyau dans le schéma électronique de l'atome.

La plupart des tableaux donnent un pourcentage :

O... : 46,66 % ; Si... : 27,72 % ; Al... : 8,13 % ; Fe... : 5, pour arriver à des chiffres comportant de nombreux zéros après la virgule. F. Blondel a proposé, pour faciliter les comparaisons, d'utiliser le logarithme décimal de cette quantité en se souvenant que log. $10^n = n$. Ce logarithme représente l'abondance de l'élément chimique.

La composition chimique de la croûte terrestre est aussi présentée en oxydes, ce qui correspond d'ailleurs mieux aux réalités. On a ainsi :

SiO^2	59,8 %
Al^2O^3	14,9 %
Fe^2O^3	2,7 %
FeO	3,4 %
MgO	3,7 %, etc.

On a donc acquis maintenant une connaissance exacte de la composition chimique brute de la croûte terrestre (sur environ quinze kilomètres de profondeur), de l'hydrosphère et de l'atmosphère.

L'étude de la répartition des isotopes a quelque peu révolutionné les idées anciennes sur la vraie nature des « corps simples ». On sait maintenant qu'il existe trois Hydrogènes : l'Hydrogène « vrai » ou *protium*, l'Hydrogène lourd ou *deuterium*, puis encore le *tritium*. On les retrouve dans l'atmosphère et dans les météorites. Il existe aussi trois isotopes de l'Oxygène (O^{16}, O^{17}, O^{18}) et il en résulte la possibilité de dix-huit molécules différentes pour constituer ce que l'on appelle couramment de l'Eau.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

Pétrographie. — En France : Traités de L. Cayeux sur les roches sédimentaires, de A. Lacroix, A. Michel-Lévy sur les roches éruptives, de J. de Lapparent et traduction française de Rinne : *La Science des Roches.* — R. A. Daly. — *Igneous rocks and the depths of the Earth.* New York, 1933.
A. Demay. — Microtectonique et tectonique profonde. *Mém. Serv. Carte Géol.*

Fr., 1942. — J. Jung et M. Roques. — Les schistes cristallins du Massif central. *Bull. Serv. Carte Géol., Fr.*, 1938. — R. Perrin et M. Roubault. — Le granite et les réactions à l'état solide. *Bull. Serv. Carte Géol. Algérie*, 1939. — G. Muchemble. — Sur la radioactivité élevée des roches marines du Nord de la France. *C. R. Ac. Sc.*, 1943. — E. Raguin. — *Géologie du granite* (Masson), 1946. — H. et G. Termier. — Géologie et Pétrogenèse. *Bull. Serv. Carte Géol. Algérie*, 1953.

Géochimie. — Elie de Beaumont (L.). — Note sur les émanations volcaniques et métallifères. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 1847, pp. 1249-1333. — A. de Lapparent. — *Traité de Géologie*, 1883. — L. de Launay. — *Traité de Métallogénie*, 1913. — Clarke (L. W.). — Composition of the Earth's Crust. *U. S. Geol. Survey*, 1924, *Professional Paper*, 127, 117 pages. — Washington (H. S.). — The Chemical composition of the Earth's Crust. *Amer. J. Sc.*, 1925, pp. 351-378. — Fersman (A. E.). — *Geokhimia* (en russe), 1953. — Lindgren (W.). — *Mineral Deposits*, 1933 4^e édit.). — G. Deflandre. — *La vie créatrice de roches*, 1941 (P. U. F.). — Mason (B.). — *Principles of Geochemistry*, New York, 1952. — Goldschmidt (V. M.). — *Geochemistry*, London, 1954. — Rankama (K.), Sahama (Th. G.). — *Geochemistry*, Chicago, 1952. — Rankama (K.) — *Isotope Geology*, London, 1954.

LA CONSTITUTION INTERNE DU GLOBE TERRESTRE

Les géologues, pour expliquer les phénomènes observés à la surface du Globe, ont besoin d'en connaître la constitution interne.

Au début du XX^e siècle, on était en possession de quelques notions, dont la seule certaine était celle de la densité. La densité moyenne de la Terre était de 5,52 et celle de la moyenne des roches de l'écorce terrestre ne dépassait pas 2,97. L'intérieur du Globe devait donc être constitué de matériaux lourds, du fer nickelé de densité 7,7 (comme les météorites d'ailleurs). C'est à partir de ces données qu'Edouard Suess avait pensé que la Terre était formée de trois sphères concentriques : une enveloppe superficielle, le *Sial* (silice et alumine), une sphère intermédiaire, le *Sima* (silice et magnésie), puis une sphère centrale, le *Nife* (fer et nickel). Un autre fait établi était l'augmentation de la température en profondeur, un degré par 33 mètres. On continua à croire que toute la masse centrale était en fusion, sans tenir aucun compte des pressions.

Au XX^e siècle, les données de la Physique du Globe sont venues modifier ces hypothèses.

En particulier, l'étude des vitesses de propagation des ondes séismiques à travers le Globe a beaucoup appris. Après avoir distingué plusieurs sortes d'ondes, on croit que toutes sont longitudinales et que si leurs vitesses de propagation sont différentes, c'est parce qu'elles se propagent dans des milieux distincts par leur densité et leurs propriétés élastiques. Ces milieux sont séparés par des discontinuités, dont on a pu calculer la profondeur.

On peut rappeler aussi, que depuis la guerre de 1940, on a provoqué un certain nombre d'explosions très remarquables, qui ont du moins fourni quelques sujets d'études sur la propagation et la réflexion de ces ondes séismiques provoquées. L'explosion de la bombe atomique de Bikini-juillet 1946, a montré en particulier que l'énergie dégagée se situe aux environs de 10^{20} ergs, ce qui correspond à celle d'un bon tremblement de terre moyen. D'autre part, ces explosions ont un autre avantage (pour le géophysicien), c'est que l'on connaît exactement le foyer et l'heure de départ.

On distingue maintenant, de la surface vers le centre :

— croûte supérieure ou *Sial* (abondance de silice et alumine) ;
— croûte inférieure ou *Sima* (roches basiques) ;
— discontinuité de Mohorovicic (vers 60 km. de profondeur) ;
— manteau de roches ultra-basiques (dunites) ;
— discontinuité de Repetti (vers 950 km. de profondeur) ;
— sphère intermédiaire ;
— discontinuité de Gutenberg (vers 2.900 km. de profondeur) ;
— noyau central (fer nickelé) dont la densité atteint 12,3 au centre de la Terre sous une pression de l'ordre de 3 millions et demi d'atmosphères.

Ce tableau n'est évidemment pas définitif, et le géophysicien américain Gutenberg a pu écrire récemment que notre connaissance de l'intérieur du Globe était très imparfaite et hypothétique.

D'autre part, la croûte sous-océanique est beaucoup moins épaisse que la croûte sous-continentale. Des études faites dans le Pacifique (par Raitt et Woollard) et dans l'Atlantique occidental (par Hill et Laughton) en 1954, il ressort que la discontinuité de Mohorovicic se trouve à 15 ou 20 kilomètres au maximum sous la surface de l'Océan, soit à une dizaine de kilomètres au-dessous du fonds (un peu plus sous les îles).

Les études séismologiques ont montré qu'il existe des *foyers normaux* à moins de 60 kilomètres de profondeur, donc situés dans la croûte, au voisinage des côtes et des fosses océaniques (Chili et Indonésie), des *foyers intermédiaires* situés sous les chaînes de montagnes (dans la ligne des volcans actifs), et des *foyers profonds*, de 300 à 700 kilomètres de profondeur, à l'intérieur des continents, loin des hautes chaînes récentes.

Comme l'a écrit J. Rothé, « ces corrélations ne sont certainement pas fortuites et nous apprennent que le domaine de la tectonique, que les géologues croyaient se limiter aux cinquante premiers kilomètres de notre croûte, s'étend en réalité beaucoup plus bas ».

BIBLIOGRAPHIE :

Montessus de Ballore. — La Géologie séismologique (Colin), 1924. — Maurin. — Physique du Globe (Colin), 1941. — E. Rothé. — Questions actuelles de Géophysique (Gauthier-Villars), 1943. — J. Rothé. — Séismes et volcans (P.U.F.), 1946. — B. Gutenberg — Seismicity of the Earth, 1954. — L. B. Slichter. — Seismic interpretation theory of an elastic Earth. *Proc. R. Soc.*, A., v. 224, pp. 43-63. — G. P. Woollard. — Crustal structure beneath oceanic islands. *Proc. R. Soc.*, A., v. 222, 1954, pp. 361-287. — K. E. Bullen. — Some trends in modern seismology. *Science Progress*, 1955, v. 43, pp. 211-227.

LES THÉORIES OROGÉNIQUES

Les déformations de l'écorce terrestre sont l'objet de la *Tectonique.*

Lorsqu'on a voulu expliquer la formation des chaînes de montagnes avec tous leurs plissements, il a fallu imaginer des phénomènes qui semblent différents de ce que nous observons.

Peu à peu, on a compris le *rôle du temps,* non plus à l'échelle humaine, mais à l'échelle géologique, en millions d'années. On s'est habitué à l'idée de mouvements qui n'excèdent pas un millimètre ou un centimètre par an, mais qui, se poursuivant longtemps, donnent un mètre par siècle, dix mètres par millénaire, dix mille mètres pour un million d'années, et cela pour des mouvements relativement rapides.

Les tectoniciens du xx^e siècle ont déjà distingué une *tectonique profonde,* de type cassant, concernant les socles anciens, cristallins, métamorphiques et rigides et une *tectonique de couverture,* concernant les terrains sédimentaires post-hercyniens, plus ou moins vivement plissés, et déplacés. Il a été définitivement entendu que les chaînes de montagnes ont été formées aux dépens des 10 à 15.000 mètres de sédiments de faible profondeur accumulés dans les gouttières de subsidence, appelées géosynclinaux, mais on n'avait pas encore bien envisagé les *causes.*

Ici, nous quittons le domaine de l'observation possible pour celui de l'hypothèse. Le xx^e siècle en connaît au moins trois : la dérive des continents de Wegener, le métamorphisme générateur de plissements de René Perrin, et les mouvements de convection de Griggs.

La dérive des continents.

Le géophysicien allemand Wegener imagina une théorie nouvelle en 1912, en partant de la notion d'*isostasie,* et de continents de *sial* flottant sur un *sima* visqueux.

Il imagina qu'un continent unique au commencement, s'était morcelé au cours des temps géologiques et que ses fragments avaient dérivé, poussant devant eux des matériaux qui vont

donner des rides, des chaînes de montagnes. De plus, l'axe des pôles était mobile, ce qui expliquait les variations de climat. Cette théorie eut d'abord un certain succès près de quelques tectoniciens, en particulier près d'Argand, professeur à l'Université de Neuchâtel, qui finit par expliquer la genèse de l'Himalaya, en montrant comment l'Inde péninsulaire en dérive vers le Nord, s'était glissée sous l'Asie, provoquant le soulèvement des grandes chaînes. Par ailleurs, les continents avaient des « jeux de proue et des jeux de poupe » de l'effet le plus inquiétant.

Cette théorie n'a plus guère de défenseurs. En dehors des raisons géologiques qui la rendent invraisemblable sous la formule proposée, elle ne donne pas de *cause* aux forces translatrices, capables de déplacer des continents. La seule que l'on connaisse est la poussée vers l'Equateur. Bouasse en a calculé la force et il a estimé que les contraintes exercées sont inférieure à 10 kilos par centimètre carré, ce qui serait insuffisant « pour écraser une brique ». En 1933, P. Dive a repris l'hypothèse en y ajoutant celle de courants au sein du Globe.

Le métamorphisme générateur de plissements.

Les sédiments épais qui constituent les chaînes de montagnes montrent, vers leur base surtout, des phénomènes de métamorphisme. En 1934, René Perrin a présenté une théorie nouvelle disant que le métamorphisme n'est pas causé par le plissement, mais qu'il en est au contraire l'agent fondamental. Il appuie son hypothèse sur la notion des réactions à l'état solide. Dans les revêtements des fours métallurgiques, on observe la diffusion d'une partie de la matière du laitier silicaté fondu et la diffusion en sens inverse du titane, du fer, du manganèse et de la chaux du revêtement. Dix ans plus tard, en utilisant des isotopes radioactifs, on a pu déterminer la vitesse de diffusion des atomes de radioargent déposé par voie électrolytique sur un bloc d'argent porté à 500°. Les examens postérieurs ont montré que les atomes d'argent se déplacent à l'intérieur du bloc à une vitesse de 2,5 mm. par semaine (à 500°).

Au laboratoire, on peut constater que les réactions à l'état solide ont pour conséquence une augmentation de volume qui peut atteindre 50 % du volume initial des corps mis en présence. Ceci est de nature à engendrer des pressions. Dès le XIX^e siècle, T. Mellard Read avait déjà pensé que les sédiments chauffés aux grandes profondeurs augmentaient de volume et provoquaient des plissements. René Perrin explique comment de telles réactions à l'état solide, se produisant dans les zones géosynclinales, exercent des pressions énormes par augmentation de volume et provoquent des plissements. Parmi les géologues, le nom de M. Roubault est lié à cette théorie qui a l'avantage de proposer une force motrice possible.

Les courants de convection.

Cette théorie a été développée en 1939 par le géologue américain Griggs. Elle tend, elle aussi, à trouver une force capable de plisser la masse des sédiments d'une zone géosynclinale et d'expliquer la nature intermittente des phénomènes orogéniques. D. Griggs s'appuie sur la possibilité de mouvements magmatiques profonds, plus particulièrement de *courants de convection.*

Ces courants de convection infra-crustaux pourraient être dus à des différences de température entre les masses continentales, sialiques et les masses sous-océaniques, simiques. Holmes préfère y voir un effet de la radioactivité. Convection thermique et diffusion chimique peuvent effectivement modifier l'énergie disponible et les calculs de J. Goguel ont montré qu'un tel phénomène est *possible.* Le *Sial* se trouverait entraîné lentement vers la profondeur et les zones d'anomalies négatives de la pesanteur seraient les racines des chaînes en formation. La vitesse du déplacement moyen est calculée à quelques centimètres par an pour des cellules de 2.000 km. de profondeur. De tels mouvements (très lents) peuvent se produire dans la zone ultrabasique située au-dessous de la discontinuité de Mohorovicic (60 km.) et peut-être bien au-delà. Ces courants puissants seraient capables de provoquer des déformations de la croûte, en entraînant une partie en profondeur et soulevant l'autre. Il est toutefois certain que des foyers séismiques se situent entre 300 et 700 kilomètres de profondeur, *prouvant que cette zone profonde n'est pas inerte.*

C'est dans cette hypothèse que F. Vening-Meinesz trouve la seule explication des anomalies de la pesanteur que lui ont révélées ses campagnes sous-marines dans l'archipel de la Sonde et aux Antilles. La pesanteur est inférieure à la normale tout le long de l'archipel sur 100 à 200 kilomètres de largeur, tandis qu'elle est supérieure à la normale au-dessus des grandes fosses marines.

Les variations prévues dans la vitesse des courants de convection détermineraient des cycles actifs de vingt-cinq millions d'années, séparés par de longues périodes de repos. Dans le cas des Iles de la Sonde, les plissements datent du Miocène et l'anomalie négative persisterait encore pendant vingt millions d'années jusqu'à la surélévation de la chaîne, lorsque le « *sillon* liminaire » deviendrait un « *bourrelet* liminaire ».

La formation des nappes de charriage

Dès le début du siècle, personne ne doutait plus de la réalité des nappes de charriage, mais les explications de leur origine n'étaient pas satisfaisantes. On imaginait des plis couchés sur des centaines de kilomètres. Toutefois, en 1893, le géologue suisse

Hans Schardt exprima l'idée qu'une grande nappe de terrains de couverture pouvait fort bien *glisser* sur des terrains plastiques (argiles ou gypse), surtout si l'on admet une certaine pente déterminant un mouvement spontané sous la simple influence de la pesanteur. Dès 1896, M. Lugeon se ralliait à cette hypothèse, dite de l'« *écoulement par gravité* », mais dans l'ensemble les tectoniciens n'y attachèrent pas d'importance.

En 1907, un autre géologue suisse, Buxtorf, étudiant la chaîne du Jura, fit remarquer que l'ensemble de la couverture sédimentaire plissée avait glissé sur le socle primaire grâce au niveau plastique du Trias.

Puis en 1930, E. Haarmann expliqua les plissements par des intumescences primitives d'abord. Ensuite, les sédiments de couverture glissent sur les flancs de cette intumescence et s'écoulent par gravité en se fronçant.

Petit à petit, tous les géologues se rallient à cette hypothèse et l'appliquent : P. Fallot, E. Gagnebin, M. Gignoux, L. Glangeaud, M. Lugeon, A. Lombard, L. Moret, D. Schneegans, etc. Cette hypothèse simple en ce qui concerne le déplacement et l'arrangement des plis de couvertures a été magnifiquement illustrée dans le film cinématographique de L. Moret, reconstituant en dessins animés l'histoire des Alpes françaises (1938).

C'est actuellement la théorie la plus satisfaisante pour l'esprit. Elle permet de suivre l'évolution des orogènes et de *faire de l'embryotectonique.*

Il n'en reste pas moins que les *forces essentielles s'exercent dans le sens vertical*, provoquant des surrections de plusieurs milliers de mètres.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

WEGENER (A.). — *La genèse des continents et des océans.* Théorie des translations continentales (trad. A. Lerner), 5^e édition, 1937 (Nizet et Bastard). — GUTENBERG (B.). — Forces in Earth's Crust. *in Physics of the Earth*, t. 7. 1939. — PERRIN (R.). — Le métamorphisme générateur de plissements. *Annales des Mines*, 1934. — GRIGGS (D.). — A theory of Mountain building. *Amer. J. Sc.*, 1939. — DIVE (P.). — La dérive des continents et les mouvements intra-telluriques, 1933. — M. GIGNOUX. — Quelques réflexions sur les théories tectoniques récentes. *Ann. Univ. Grenoble*, 1942. — GOGUEL (J.). — Introduction à l'étude mécanique des déformations de l'écorce terrestre. *Mém. Serv. Carte Géol. Fr.*, 1943. — GLANGEAUD (L.). — Orogenèse et pétrogenèse profonde, d'après les théories géophysiques nouvelles. *Rev. Sc.*, 1947, pp. 1107-1120. — UMBGROVE (J. H. S.). — *The Pulse of the Earth*, La Haye, 1942. — ROUBAULT (M.). — *La genèse des montagnes*, 1949 (P. U. F.). — TERMIER (H.). TERMIER (G.). — Géologie et Pétrogenèse. *Publ. Serv. Carte Géol. Algérie*, 1953. — GOGUEL (J.). — *Traité de Tectonique*, 1952 (Masson).

LA GÉOCHRONOLOGIE

La découverte de la Radioactivité est venue bouleverser complètement nos façons d'essayer de calculer l'âge des formations de l'écorce terrestre.

La notion de *temps* fut introduite pour la première fois par Pierre Curie dans une communication faite en 1902 à la Société de Physique de Paris. Elle passa inaperçue et fut rarement comprise, même par la suite. La même notion fut conçue, tout à fait indépendamment, en 1904 par Rutherford au Canada, puis en 1905 par Boltwood aux Etats-Unis.

La Géochronologie est devenue une science très précise, puisqu'elle dispose d'un étalon de temps permettant de fixer l'âge de tout minéral radioactif, chaque élément radioactif ayant une « durée de vie », une période de désintégration constante. Ce sont donc les méthodes de la Physique nucléaire qui sont appliquées ici. Il y en a plusieurs dès maintenant : méthode du strontium, méthodes du plomb (uranium, thorium, etc), méthode des rapports isotopiques, méthode du zircon, etc. Toutes ces méthodes, qui se recoupent entre elles, aboutissent à donner l'âge de formation d'un minéral, et par là même, l'âge de la roche encaissante qui est nécessairement contemporaine ou antérieure. Dès lors, nous avons des chiffres et nous savons où nous sommes. Commençons donc par le commencement.

L'origine du temps de notre Univers est estimée aux environs de dix milliards d'années au grand maximum. On compte le plus souvent six milliards. C'était le temps où l'énergie concentrée quelque part, se différencia brusquement en matière, en atomes et molécules. Et la matière fut de signe positif, parce que les protons positifs expulsèrent les protons négatifs, ces antiprotons retrouvés en 1955 dans les laboratoires de Berkeley. Que sont devenus ces antiprotons ? Sont-ils groupés aux frontières de l'Univers ? S'ils revenaient, la matière retournerait sans doute à son point de départ, à l'énergie...

Toujours est-il que la nouvelle « matière » se groupa en nébuleuses et galaxies, s'éloignant les unes des autres à des vitesses vertigineuses, dans le nouvel espace, selon la théorie de l'Expansion. Les galaxies les plus lointaines que l'on puisse observer sont parties à plus de six cents années-lumière. Cette lumière fossile qui nous arrive est à l'échelle géologique. Certaines étoiles naines du type F7 ont environ trois milliards et demi d'années.

Puis le Système solaire exista, et la Terre.

Nous voici revenus à la Terre, ce qui va nous permettre de confronter des chiffres. Les terrains sédimentaires fossilifères ont tous été datés et il est admis que la base des terrains primaires, la base du Cambrien, se situe vers cinq cents millions d'années. Le triomphe de la nouvelle méthode se manifeste dans l'étude du Précambrien, métamorphisé, granitisé.

(1) Pour Einstein, le rayon de l'Univers est de l'ordre de 10 milliards d'années-lumière.

L'analyse des minerais d'uranium et de plomb a donné des résultats inespérés. On a trouvé de la pechblende de 630 millions d'années au Katanga, un mica du Sud-Ouest africain de 1.500 millions, un granite du Dakota de 1.700 millions, l'Uraninite de Carélie 1.800 millions, une monazite de Madagascar 2.420 millions, un mica du Tanganyika dépassait 3 milliards d'années. Enfin une galène de Barberton (Afrique du Sud) est datée de 3 milliards 380 millions d'années et le chiffre record, contesté d'ailleurs, est de 3 milliards 850 millions d'années pour un mica de Letaba, au Transvaal.

De tels chiffres ont été trouvés sur tous les continents bien entendu.

Nous savons donc en toute certitude que les roches les plus anciennes de l'écorce terrestre ont bien plus de trois milliards d'années, puisqu'elles sont traversées par des filons de cet âge. Le chiffre normal se tient donc entre trois et quatre milliards d'années, ce qui correspond bien aux six milliards du Système solaire.

Nous avons encore un autre chiffre : l'âge des Météorites tombées à la surface de notre Globe. On en connaît qui ont six milliards d'années, ce qui tendrait à vieillir l'ensemble, si les chiffres sont corrects.

Enfin, citons un dernier chiffre, d'après J.-M. Chevallier et A. Cailleux : l'extrapolation du ralentissement de la rotation terrestre, établi par les mesures des astronomes depuis plus d'un siècle, situe l'origine du Système Terre-Lune aux environs de 3 milliards 500 millions d'années, ce qui nous paraît bien un peu court, mais reste dans le même ordre de grandeur.

Tout cela se tient donc parfaitement bien, depuis la constitution de la matière il y a quelque dix milliards d'années jusqu'à l'apparition de l'Homme sur la Terre, il y a environ un million d'années.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

HOLMES (A.) et autres. — The Age of the Earth. *Bull. Nat. Res. Council*, Washington, 1931, v. 80, 487 pages. — EDDINGTON (A.). — *The expanding Universe*, *Londres*, 1932. — HOLMES (A.). — *The Age of the Earth*, Londres, 1937. — BOK (J. Bart), WATSON (F. G.). — Astronomical Aspects of the Age of the Earth. *Rep. Comm. Meas. Geol. Time*, Washington, 1940, pp. 91-95. — JEANS (Sir J.). — *The Mysterious Universe*, Cambridge, 1942. — HOLMES (A.). — The oldest known minerals and rocks. *Trans. Edinburgh Geol. Soc.*, 1947, v. 14, pp. 176-194. — URRY (W. D.). — Significance of radioactivity in geophysics-thermal history of the Earth. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 1949, t. 30. — GOGUEL (J.). — A propos du calcul de Holmes sur l'âge de la Terre. *C. R. Soc. Géol. Fr.*, 1953, pp. 248-250. — HOLMES (A.), CAHEN (L.). — *Géochronologie africaine*. Résultats acquis au 1^er^ septembre 1954. Congrès de Nairobi, 1954. — CAILLEUX (A.). — Etat actuel des données sur l'âge de la Terre. *Geol. Rundschau*, 1954, pp. 246-247. — RANKAMA (K.). — *Isotope Geology*, London, 1954.

L'ÉVOLUTION DE LA VIE

La Paléontologie fut pendant longtemps uniquement systématique. Cette systématique, rigoureuse, reste à la base de l'inventaire des êtres fossiles et de la préparation des catalogues de ces inventaires, constituant maintenant des Traités, tenant compte de la paléo-écologie.

Mais la Paléontologie a maintenant dépassé ce stade, elle arrive à celui de la Philosophie, à celui de l'étude des origines et de l'évolution de la Vie.

R. Virchow disait déjà en 1865 : « Si la vie a eu un commencement, il doit être possible à la science de déterminer rationnellement les conditions de ce commencement. »

La Physique cosmique et la Géochimie permettent d'aborder utilement le problème des origines de la Vie à la surface du Globe.

Les être vivants (sans parler des virus cristallisables dont on ignore la nature véritable) se divisent en deux catégories : les *autotrophes* qui ne consomment que des aliments minéraux et empruntent presque exclusivement leur énergie à la lumière solaire, et les *hétérotrophes,* qui vivent en parasites des premiers. Les autotrophes constituent essentiellement le règne végétal, les hétérotrophes le règne animal. Il faut donc penser que des formes élémentaires végétales ont été les premières manifestations de la vie.

Aux premiers temps de l'histoire de la Terre, alors aux environs de 3.000°, notre planète était formée d'un noyau métallique en cours de refroidissement, entouré d'une scorie d'oxydes légers en ébullition. L'atmosphère était formée de vapeurs d'oxydes métalliques et d'halogénures alcalins, de gaz rares, de cyanogène, d'acétylène et d'un excès d'hydrogène et d'azote.

La première croûte vitreuse superficielle de la Terre fut sans doute constituée par des silicates d'alumine ; elle fut recouverte d'une mer d'halogénures alcalins fondus, de quelques dizaines de mètres d'épaisseur.

Il s'y ajoutera de la vapeur d'eau surchauffée sous haute pression. La croûte vitreuse soumise à l'action de ces réactifs va se transformer en donnant naissance au cycle du silicium et des silicates. Les silicates magnésiens, abondants et denses, donneront le *Sima,* les silicates alumino-alcalins plus légers donneront le *Sial.* La silice joue le rôle essentiel dans une écorce formée par les silicates dans la proportion de 97 %. L'atmosphère devait exercer une pression énorme, puisqu'elle contenait en vapeur toute l'eau des futurs océans.

Peu à peu, tout se refroidit et les océans naissent de la condensation de l'eau contenue dans l'atmosphère. Curieuse

atmosphère d'ailleurs, qui ne contient pas encore d'oxygène, ou bien peu, et beaucoup de gaz carbonique et d'azote.

L'atmosphère oxygénée est une conséquence directe de l'apparition de la vie, sous forme de végétaux unicellulaires pourvus de chlorophylle.

Cette apparition est fort ancienne, puisque M. Lelubre a découvert des Stromatolithes dans le Pharusien de l'Ahenet (Hoggar). Ces Stromatolithes sont des constructions calcaires provoquées par l'activité d'Algues unicellulaires et leur âge se situe entre deux et trois milliards d'années. Une Algue, *Corycium enigmaticum*, du Précambrien de Scandinavie, est datée aux environs de 1.400 millions d'années.

Il y en eut certainement bien d'autres auparavant, responsables des dépôts calcaires, si métamorphisés qu'ils sont devenus des marbres.

Le rôle géologique, géochimique, de la Vie fut considérable dès le début. A. Cailleux et G. Simpson ont tenté d'extrapoler un certain nombre de lois biologiques. D'après la progression géométrique du nombre des espèces, les premières flores se situeraient vers deux milliards d'années ; d'après l'accélération du psychisme, les premières réactions simples (des tropismes) pourraient se situer entre 1,5 et 5 milliards. .

Tous ces chiffres se tiennent assez bien dans le cadre des ordres de grandeur.

Cela nous rapproche singulièrement de la naissance des premières molécules organiques dans les eaux des océans primitifs atteints par les rayons ultra-violets à courte longueur d'onde qui n'étaient pas encore arrêtés par une atmosphère pourvue d'oxygène. C'est la première matière organique, vivante, chlorophyllienne, qui absorba du carbone et libéra de l'oxygène, l'oxygène de notre atmosphère. Son importance géochimique n'est pas moindre, puisqu'elle provoqua l'accumulation du carbonate de chaux, du calcaire. Il reste à noter que toutes les molécules vivantes polarisent la lumière dans le même sens.

Ensuite, le règne animal fut inauguré, également par des êtres unicellulaires.

Des centaines de millions d'années s'écoulent. Les Océans sont peuplés d'Algues unicellaires et de Protistes du groupe des Hystrichosphères, en attendant les Radiolaires. Les continents restent nus, désertiques. Il n'y a guère que cinq cents millions d'années environ que nous voyons les êtres vivants se compliquer et évoluer et, dès lors, tout se passera très vite.

Dès la base du Cambrien, les principaux embranchements d'Invertébrés se montrent, mais sous des formes rudimentaires : des Spongiaires, des Coelentérés, des Vers, des Onychophores, des Crustacés, des Brachiopodes, des Echinodermes. On assiste à une explosion biologique.

Les transgressions et les régressions marines vont se succéder, encadrant les géographies anciennes.

Le premier Prochordé, *Jaymoytius*, ancêtre des *Amphioxus*, apparaît dans les mers ordoviciennes, il y a quatre cents millions d'années.

La respiration aérienne est acquise par les Végétaux, puis par les Animaux, également au Silurien. On y trouve les premières plantes vasculaires, respirant grâce à leurs stomates et des Arthropodes comme les Scorpions. Dès le Dévonien, les continents sont colonisés par des Végétaux comme les *Rhynia*, puis des Fougères encore primitives, puis des Lycopodinées, des Equisétinées, des Cordaïtées, dont les successeurs immédiats constitueront les forêts houillères. Les Vertébrés s'aventurent sur la Terre au Dévonien eux aussi. Ce sont des Amphibiens Stégocéphales. Leur queue rappelle bien encore celle des Poissons Crossoptérygiens, mais les premiers, ils ont quatre pattes.

La suite est trop connue pour en parler. On voit apparaître successivement les Reptiles terrestres, les Oiseaux, les Mammifères. Ces derniers vont dominer le monde Tertiaire, enrichi de la végétation des Plantes à fleurs apparues au Crétacé inférieur.

Les millénaires passent et la Vie poursuit son évolution. Il y a un million d'années environ, on trouve parmi les « Singes » de l'Afrique du Sud des formes singulières, les *Australopithèques*, qui ont des caractères hominiens. Beaucoup de savants éminents les comptent parmi nos ancêtres directs. Un peu plus tard, nous voyons le *Sinanthrope* de Chine, le *Pithécanthrope* de Java et l'*Atlanthrope* d'Afrique du Nord, capables de faire du feu et de tailler des outils de silex. Puis c'est le règne de l'Homme, de l'*Homo sapiens*, qui a colonisé la Terre entière, qui l'a souvent dégradée, qui utilise son énergie géologique (charbons et chutes d'eau) et modifie sa géographie, à ses risques et périls.

C'est le même qui dans un siècle « explosif » a réussi à percer le secret de ses origines et à reconstituer l'histoire de sa planète.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

H. F. Osborn. — *L'origine et l'évolution de la vie*, 1921 (Masson). — W. Vernadsky. — *La Biosphère*, 1929 (Alcan). — G. Deflandre. — La Vie créatrice de roches, 1941 (P. U. F.). — A. Dauvillier. — *Genèse, nature et évolution des planètes. Cosmogonie du système solaire. Géogénie. Genèse de la Vie*, 1947 (Hermann). — *Paléontologie et transformisme*. Colloque, 1947-1950 (A. Michel). — W. Rubey. — Geological history of sea-water. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 1951, pp. 1111-1148. — H. Termier et G. Termier. — *Histoire géologique de la Biosphère*, 1952 (Masson). — G. Simpson. — *Rythmes et modalités de l'évolution* (trad. de Saint-Seine) (A. Michel). — H. Termier et G. Termier. — *Formation des continents et progression de la vie*. 1954 (Masson). — J. Piveteau et Collaborateurs. — *Traité de Paléontologie* (Masson).

Thèmes spéciaux, dans la formation mathématique

Etayer, à tous stades l'initiation, le cours par des problèmes adéquats, est une nécessité reconnue. On évince ainsi les rigidités abusives du cours, ordre adopté, privilège d'une méthode, etc... Ce besoin redouble lorsque l'étudiant de licence, en partie livré à lui-même, aborde les chapitres d'analyse mathématique et de géométrie (courbes, surfaces, espaces usuels) demandés au certificat de calcul différentiel et intégral. Hors l'étude patiente et laborieuse de ces chapitres, les heures lui sont comptées. D'où une méthode de travail appelant surtout, à côté d'applications simples et typiques du cours en séances orales, des rédactions attentives de *problèmes guidés*, inspiré chacun d'un thème spécial, propre à faire reviser un chapitre. L'énoncé sera donc libellé pour éviter d'arrêter le chercheur, et par contre, pour déclencher un labeur méthodique apte à l'instruire. Et cela, sans dépasser en un an 10 à 12 de ces thèmes.

Je propose ici un thème de ce genre à l'appui de questions, enseignées en *géométrie différentielle* et d'autres voisines, plus souvent réservées à la partie *Analyse*. Chemin faisant, on verra le parti à tirer d'attaches élevées du sujet, propices à dévoiler de nouvelles questions.

1. Genèse du thème. — On part d'une propriété connue de géométrie plane. En appelant C un cercle fixe de centre O, rayon R et D un cercle passant par O, tangent à C, tout angle de sommet O, découpe sur D un arc PQ et sur C un arc MN de même longueur. La réciproque est livrée par une équation différentielle dont les intégrales sont D et les cercles D'en résultant par rotation autour de O (prendre des coordonnées polaires) : C a rôle d'intégrale singulière. Il est bon d'ailleurs de rappeler que la définition géométrique introduit un type mixte d'intégrales, formées par raccord d'un arc de C et d'un arc de D' prolongeant l'arc de C cela, avec pente continue de la tangente.

Il s'agira surtout dans l'espace du problème analogue, l'accès en étant donné aux étudiants par un texte adapté à leurs connaissances du moment.

2. Outillage préalable. — Savoir, une surface étant donnée, en établir les propriétés, ne suffit pas ici. A cette partie du cours, se joint celle qui prétend *déterminer une surface comme élément inconnu* par recours à une équation (au moins) contenant des dérivées partielles du premier ordre. Cela n'est traité qu'après mars. Mais l'acquis des mathématiques générales peut s'exploiter, en parant dans l'énoncé à toute lacune éventuelle. Ainsi, un travail proposé en février féconderat-il des séances ultérieures de cours, en offrant l'expérience anticipée d'un exemple.

En février, est acquise la *notion d'aire*, tant pour un domaine plan que pour un domaine prélevé sur la sphère ou sur une surface $z = f(x,y)$

quand f a un gradient continu : sujet essentiel pour de futurs professeurs des lycées et collèges. La suite du présent développement tiendra compte des difficultés afférentes, en face desquelles le texte proposé se couvre en énonçant des *hypothèses prudentes*, pour justifier l'emploi des méthodes classiques. Mais, en séance orale, les étudiants doivent être instruits des dangers qu'on a voulu leur éviter ; ce qui sera fait tout à l'heure.

Acquise est aussi la *notion de groupe*, sous son aspect opératoire et son aspect géométrique (1), lié à ces résultats d'invariance abrégeant la recherche, sous conditions imposées, de lignes et de surfaces et à proximité l'habitude d'ériger en système autonome, en la libérant de l'espace ambiant la *géométrie d'une surface*, telle la sphère, pour y adapter entre autres cette notion : gradient d'une fonction d'un point de la surface (2). Bonne occasion donnée pour apprécier l'appui de connaissances axiomatiques.

Reste l'inexpérience des équations $f\ (x, y, z, p, q) = 0$. Comment y remédier ? On verra qu'on peut ici se contenter d'équations $f(x, p, q) = 0$, lesquelles traduiraient avec les notations usuelles (où x, y, z sont les coordonnées rectangulaires d'un point M) la recherche d'une S tangente en chaque point M à un cône Γ (M) qui se translate quand M décrit un plan parallèle à un plan fixe, plan ayant alors rôle de plan $x = 0$; on a d'emblée les solutions $z = ay + X$ où la fonction X, indépendante de y, vérifie l'équation $f\ (x, X', a) = 0$, qui pour chaque a donne X à une constante additive près, soit b. D'où, système de surfaces intégrales S(a, b) de $f(x, p, q) = 0$ sur lequel on prélève des familles à un paramètre en posant $b = \varphi\ (a)$, avec φ dérivable ; d'où, enveloppes donnant un ensemble E de nouvelles intégrales dépendant de φ et pouvant, comme les S(a, b) s'engendrer par des lignes L de la famille :

$$z = ay + b + X\ (x, a) \qquad y + c + X_a\ (x, a) = 0$$

Ces lignes L ont rôle de *lignes de contact* entre enveloppe et enveloppées. Par chaque L, passe un système infini d'intégrales extraites de E, sans préjudice d'une S(a, b) au moins, avec communauté, le long de L des plans tangents. Les L partagent les caractères d'invariance de $f(x, p, q) = 0$. Bien noter que le modèle géométrique qui vient d'être associé à $f(x, p, q) = 0$ ne sert qu'à cimenter un embryon de théorie et n'aura qu'un rôle auxiliaire dans ce qui se prépare : il sera plus naturel alors, de prendre pour variables indépendantes, au lieu de deux coordonnées rectangulaires de M, les paramètres u, v (colatitude, longitude) fixant l'intersection de la sphère $x^2 + y^2 + z^2 = 1$ et de la demi-droite OM. On rencontre ici un de ces cas où certains éléments du cours n'ont qu'un intérêt indirect pour le thème, leurs résultats devant céder le pas à des énoncés qu'il vaut mieux établir directement et sous forme aussi simple que possible.

(1) Bouligand. *Initiation à l'analyse mathématique*, 5e éd., note III.
(2) Bouligand et Rabaté. *Initiation aux méthodes vectorielles*, 6e éd., p. 282-283.

3. Énoncé sommaire et découpage conscient du problème. — De 2 dimensions, on passe à 3 en donnant encore le point fixe O, avec une sphère T de centre O, dont le rayon R peut être pris pour unité ; puis en cherchant une surface Σ telle que tout angle solide de sommet O découpe sur T et Σ des aires équivalentes. Net en apparence, cet énoncé ne précise pas les sens attribués au mot *surface* d'une part, au mot *aire* d'autre part. Si la condition imposée milite en faveur d'une définition de la surface qui la suppose représentable sous la forme :

$$x = f(u, v) \sin u \cos v, \quad y = f(u, v) \sin u \sin v, \quad z = f(u, v) \cos u$$

ce qui introduit des coordonnées sphériques r, u, v liées par $r = f(u, v)$, le rôle joué par l'aire quand on formule cette condition soulève ici *des difficultés sérieuses*, qu'on retrouverait au reste dans le sujet initial de géométrie plane, avec la longueur.

On les apprécie en prenant Σ de révolution autour d'un axe passant par O, axe que l'invariance par les rotations autour de O permet de confondre avec Oz. Prenant alors O comme pôle et Oz comme axe polaire, on obtient le rayon vecteur $f(u)$ au moyen de l'équation différentielle :

$$(ff')^2 = 1 - f^4.$$

À partir de *brisures* possibles de la méridienne de Σ (3), dont les configurations limites conviennent si l'on respecte la convergence en longueur, on est conduit aux solutions :

$$\text{arc sin } f^2 = 2 \int \varepsilon(u)\, du$$

où $\varepsilon(u)$ est une *fonction mesurable* aux seules valeurs -1 et $+1$. En s'imposant une méridienne à tangente continue, on obtient une lemniscate, dont le point double est en O, avec direction quelconque de l'axe transverse.

C'est ainsi que se sépare, pour f indépendant de v, dans un champ de possibilités déjà touffu, ce qui. par réalisation d'une caractère de continuité d'une dérivée, devient plus maniable. En adoptant la représentation paramétrique liée à $r = f(u, v)$ on conviendra donc que f a *des dérivées premières continues*, en se réservant, s'il y a lieu, d'introduire des *conditions annexes*. Moyennant quoi, le recours au ds^2 de Σ, déduit de la forme générale liée aux coordonnées sphériques :

$$ds^2 = dr^2 + r^2 (du^2 + \sin^2 u\, dv^2)$$

donnera l'élément d'aire $\sqrt{\text{EG-F}^2}$ du dv, qui devra égaler $(\sin u)$ du dv, mesure de l'élément en regard sur T. D'où, pour f, l'équation aux dérivées partielles :

(EDP) $f^2 (\text{P}^2 \sin^2 u + \text{Q}^2) = \sin^2 u\, (1 - f^4)$ (avec $df = \text{P}\, du + \text{Q}\, dv$).

(3) *Init. méth. vect.*, 6e éd., note p. 127.

d'après laquelle f^2 ne peut dépasser 1. En posant $f^2 = \sin 2w$, on obtient pour la nouvelle fonction inconnue w l'équation suivante :

$$(edp) \qquad p^2 + q^2 \sin^{-2} u = 1 \qquad (\text{avec } dw \to p\,du + q\,dv)$$

Le premier membre est la somme des carrés des dérivées de w au point (u, v) de T, suivant le méridien et suivant le parallèle. Donc le carré du gradient de w sur la sphère T sera 1.

4. Recours a la géométrie sphérique. — Il est consommé avec la prise en compte de $\overline{\text{grad}}^2 w$ sur la sphère, ou même déjà de $\overline{\text{grad}}^2 f$, égalé par (EDP) à une fonction de f. On vient de rencontrer ici deux équations du type $\overline{\text{grad}}^2\theta = G(\theta)$, invariantes par le *groupe des déplacements* sur la sphère, responsable de sa géométrie, à l'exemple de ce qui se produisait déjà pour la géométrie plane. Ces deux géométries ont en commun ce type d'équivalence entre deux figures dites *égales* et qui est aussi, pour des figures directement égales, *l'équivalence à un déplacement près*. Toutefois pour la géométrie plane et pour elle seulement, ce type d'équivalence est un cas particulier d'un autre plus large, *l'équivalence à une similitude près* : dans le plan, intervient donc le *groupe des similitudes*, dont le groupe des déplacements est un sous-groupe invariant, ce dernier ayant à son tour un sous-groupe invariant, celui des translations.

En géométrie plane comme en géométrie sphérique, la recherche des équations du premier ordre invariantes par le groupe des déplacements conduit au type $\overline{\text{grad}}^2\theta = G(\theta)$: cela résulte de l'impossibilité d'une EDP traduite par une relation qui, outre θ et la longueur de son gradient, dépendrait de son origine et de sa direction dans le plan tangent en ce point. Le remplacement de θ par une fonction $w(\theta)$ adéquate ramène alors l'équation à la forme réduite $\overline{\text{grad}}^2 w = 1$.

C'est finalement la recherche de fonctions numériques, solutions de $\overline{\text{grad}}^2 w = 1$ qu'il faut aborder, soit dans le plan, soit sur la sphère.

a) dans le plan, on obtient de telles solutions par recours à des arcs tels que $\overset{\frown}{\text{MPN}}$, $\overset{\frown}{\text{M'P'N'}}$ ayant tous un même arc convexe $\overset{\frown}{\text{IKJ}}$ pour développée ; les segments MM', PP', NN' sont donc égaux et normaux à la fois à $\overset{\frown}{\text{MPN}}$, $\overset{\frown}{\text{M'P'N'}}$ qui sont des *arcs parallèles*, dont chacun est lui-même convexe ; dans un certain voisinage de P, la plus courte distance d'un point du plan à l'arc $\overset{\frown}{\text{MN}}$ est alors une fonction uniforme w telle que $\overline{\text{grad}}^2 w = 1$.

b) sur la sphère, la transposition se fait en supplantant *les segments* rectilignes par des arcs (ou segments) de grands cercles notés de la même façon, et en tenant pour convexe, en géométrie de la sphère, la section droite d'un cône convexe de sommet 0 : l'arc $\overset{\frown}{\text{IKJ}}$ en sera une portion, tandis que $\overset{\frown}{\text{MPN}}$, $\overset{\frown}{\text{M'P'N'}}$ seront empruntés à deux trajectoires orthogonales des plans tangents au cône indiqué ; la plus courte dis-

tance d'un point de la sphère assez voisin de P à l'arc $\overset{\frown}{MPN}$ est encore une fonction uniforme w telle que $\overline{\text{grad}^2 w} = 1$ (incidemment, est atteinte en géométrie de la sphère, une théorie qui répète celle de la courbure dans le plan, les notions essentielles étant celle de la développée et des développantes).

Les solutions ainsi obtenues dans le plan ou sur la sphère pour l'équation $\overline{\text{grad}^2 w} = 1$, par un processus de roulement sans glissement sur l'arc $\overset{\frown}{IKJ}$ d'un fil toujours tendu sur le plan ou la sphère, doivent au choix un peu spécial de l'arc IKJ, l'existence de dérivées continues d'ordre 2, puisque, linéaires le long des segments NN', PP', MM', elles donnent pour w, au voisinage de P, des lignes de niveau à courbure continue.

5. Transfert de ces résultats au problème initial. —Ce problème requérait au départ, en géométrie de la sphère, une (EDP), vérifiée par la fonction $r = f(u,v)$ et empruntée au type $\overline{\text{grad}^2 r} = B(r)$, en appelant B une fonction positive donnée de r ; lequel type se caractérise par son invariance quant au groupe des déplacements sur la sphère. De la même manière, en supplantant le rayon vecteur r par la cote z, il y a lieu de retenir le type $\overline{\text{grad}^2 z} = A(z)$ en appelant A une fonction positive donnée de z, lequel type se caractérise par son invariance quant au groupe des déplacements conservant la coordonnée z. Se donner $A(z)$ ou $B(r)$, revient à se donner en chacun de ces cas, la méridienne d'une intégrale qui soit de révolution, ou bien autour d'un axe V parallèle à Oz, ou bien autour d'un axe Δ mené par O : en effet, dans le premier cas, la méridienne s'écrit $w = \eta(z)$ en appelant w, z les coordonnées cartésiennes de son point courant dans un demi-plan méridien (délimité à V, pris comme axe $w = 0$) ; et dans le second, cette courbe s'écrit $w = \psi(r)$ en appelant w, r les coordonnées polaires de son point courant dans un demi-plan méridien (délimité à Δ, pris comme axe polaire), ce qui donne les équations :

$$\varphi'^2(z) \quad \overline{\text{grad}^2 z} = 1 \qquad\qquad \psi'^2(r) \quad \overline{\text{grad}^2 r} = 1$$

rentrant chacune dans le type qui lui était fixé par avance, et qu'un changement de la fonction inconnue, à savoir $\varphi(z) = w$ pour la première et $\psi(r) = w$ pour la seconde, unifie en apparence dans le symbolisme $\overline{\text{grad}^2 w} = 1$.

D'une fonction exprimée par $g(x, y)$ dans le plan z horizontal $= 0$ (par exemple) ou par $f(u, v)$ sur la sphère $r = s$, va résulter ou bien une surface $z = g(x, y)$ solution de $\overline{\text{grad}^2 z} = A(z)$ où $(P^2 + Q^2 = A(z))$, ou bien une surface $z = f(u,v)$, solution de $\overline{\text{grad}^2 r} = B(r)$ "c'est-à-dire $P^2 + Q^2 \sin^{-2} u = B(r)$ (1). Si l'on retient sans plus les solutions un

(1) Chaque fois, P, Q désignent les dérivées partielles de la fonction inconnue par rapport aux deux variables indépendantes.

peu spéciales livrées, dans le plan $z = 0$ ou sur la sphère $r = 1$, par le schéma précédent, on aura des surfaces engendrées par une courbe rigide, tracée dans un plan w qui roule sans glisser, soit sur un cylindre vertical de section droite $\widehat{IKJ}$, soit dans un plan w passant par O, qui roule sans glisser sur un cône de sommet O et de section droite $\widehat{IKJ}$. De telles surfaces sont dites respectivement *surface moulure cylindrique* et *surface moulure conique*. Elles se réduiraient (dans les deux cas) aux surfaces de révolution déjà signalées pour un arc $\widehat{IKJ}$ réduit à un point, soit par exemple K. La solution moulure véritable provenant de $\widehat{IKJ}$ non dégénéré et celle, de révolution, provenant du point K, et chaque fois de la même γ, ont en commun, le long de cette courbe, les mêmes plans tangents, lesquels enveloppent un cylindre normal à $\bar{\omega}$. Les positions dont $\bar{\omega}$ est susceptible jouent donc le rôle des lignes L introduites au n° 2 sous le nom de lignes de contact, alors qu'était sollicité un processus d'enveloppes. La théorie générale les introduit, en leur adjoignant les plans tangents qui les accompagnent en leurs divers points, sous le nom de *multiplicités caractéristiques*.

6. Elargissements du sujet. — Le couplage d'équations, qui vient de se faire en rapprochant la géométrie du plan et celle de la sphère, peut servir à d'autres fins. Soit l'équation $p^2 + q^2 = 1$ dans le plan. Elle définit des surfaces dont l'aire de chaque portion est, avec l'aire de sa projection orthogonale sur le plan $z = 0$, dans le rapport constant $\sqrt{2}$. Le rapport de deux aires découpées sur une telle surface sera donc aussi le rapport de leurs projections. Et cette propriété, quand on la prend comme point de départ, livre un thème de problème, pouvant s'adapter, d'une part à la géométrie du plan $z = 0$, les projetantes étant parallèles à Oz, d'autre part à la géométrie de la sphère $x^2 + y^2 + z^2 = 1$, les projetantes étant issues du point O. Si, dans ce dernier cas, ce problème élargit notre problème initial, c'est en fait pour s'y laisser ramener aussitôt par le jeu d'une homothétie de centre O. Il n'en est pas moins utile d'avoir un énoncé unique, qui déjà, conduit à un *élargissement naturel* de l'équation $p^2 + q^2 = 1$ (5) avec un nouveau matériel de solutions dont le recensement précis est délicat. On voit entre autres s'introduire les surfaces de révolution $z = f(\rho)$ dont la méridienne est une courbe rectifiable telle qu'en appelant s l'abscisse curviligne et h une constante, on ait $s = \rho\sqrt{2} + h$; donc aussi toute surface moulure cylindrique provenant d'une ligne plane rigide γ qui reproduit à un déplacement près conservant la verticalité d'une direction, la méridienne précédente. Une telle surface réalise alors un *tissu plissé*, avec lignes de plissement fournies par les trajectoires orthogonales des plans tangents à un cylindre parallèle à Oz, la section droite étant une courbe $y = g(x)$, avec $g'(x)$ continue.

(5) Au sujet de cette équation, j'ai déjà indiqué d'autres variantes des problèmes de la théorie classique : Voir la fin de mon fascicule intitulé : *Aux lisières de la géométrie différentielle* (Palais de la Découverte, série A, à° 196).

Mais la régularité de ce plissage, qu'on retrouve en des cas particuliers de surfaces isométriques à une surface donnée (6) ne correspond pas au cas général qui vient d'être abordé. Autrement dit, en cherchant les configurations limites pour des suites de solutions uniformes $z = \bar{\omega}_n$ de $p^2 + q^2 - 1 = 0$, constituées par des surfaces polyédrales à facettes triangulaires en des plans à 45 degrés sur le plan $z = o$, l'ensemble de tous les sinus d'angles de ces divers triangles, envisagés quel que soit n, étant de plus astreint à posséder une borne inférieure non nulle, on peut espérer obtenir des surfaces $z = h(x, y)$ réalisant chacune un tissu, chiffonné : dans un voisinage arbitrairement étroit de tout point, sans qu'intervienne une loi de régularité rappelant plus ou moins celle du plissage précédent. Il n'y a là toutefois qu'une conjecture (7), quoiqu'il en soit, ces remarques se transposent aisément au problème initial, dans un sens que fait déjà pressentir le cas des surfaces de révolution (traité au n° 3) répondant à cet objet.

7. Remarques annexes et conclusions. — Ce qui précède montre les obstacles qui se présentent quand on veut approfondir une question mathématique, se laissant formuler simplement, mais dont l'énoncé met en cause une notion de quelque complexité : telle est bien la notion d'aire d'une surface. Je crois très éducatif un voyage en pays accidenté faisant rencontrer ces obstacles. Il ne fera que mieux apprécier, par contraste, l'organisation de ces gares de triage que constituent les structures usuelles et les avantages qu'elles offrent en des types de questions mieux adaptés que le précédent.

On appréciera aussi le guide d'un problème. Le souci exclusif du trop général est un leurre : Monge avait obtenu, en principe, toute surface minima par translation de ses lignes de longueur nulle. Mais, à ce sujet, le matériel d'exemples effectifs était pauvre. Pareils déséquilibres doivent être évités. Et le problème, à cet égard, est le meilleur antidote.

G. Bouligand.

(6) *Revue scientifique*, 1945 (p. 131-144) et 1946 (p. 220-223).

(7) La recherche d'intégrales de $p^2 + q^2 = 1$ uniformes dans une certaine région où l'on suppose sans plus p, q continues est aussi un problème délicat.

ERRATUM

Tome LXII, fasc. 11-12, article B. Simonide et J. Théodoridès : p. 359, note (17), ligne 1, lire : Krumbacher (K.) 1897. Geschichte der Byzantinischen Litteratur.

LES GRANDES ENQUÊTES
DE LA REVUE GÉNÉRALE DES SCIENCES

La *Revue Générale des Sciences* va procéder à un certain nombre d'enquêtes, auprès des personnes compétentes, sur des questions scientifiques générales et d'actualité, susceptibles d'intéresser un public très important.

La première de ces enquêtes, d'un intérêt et d'une actualité qui n'échapperont à personne, est relative à la création d'un « troisième cycle » dans les Facultés des Sciences.

Nous adresserons à tous les Professeurs et Maîtres de Conférences des Facultés des Sciences un questionnaire qui ne sera d'ailleurs pas limitatif et qui permettra de répondre non seulement aux questions posées, mais aussi de faire connaître son point de vue sur tout autre sujet qui pourrait présenter un certain intérêt.

Les résultats de cette enquête seront ultérieurement analysés dans la *Revue Générale des Sciences* et donneront ainsi une idée de l'opinion générale des membres de l'Enseignement Supérieur sur une question qui fait actuellement l'objet de discussions très nombreuses dont il est difficile de dégager une conclusion.

Nous pensons que cette conclusion pourra facilement être obtenue à partir des réponses à notre enquête et nous espérons qu'elles seront nombreuses. D'avance nous remercions tous ceux qui voudront bien s'y intéresser.

NOMINATIONS

M. Dreyfuss, Maître de Conférences à Lille, est nommé professeur de Géologie et Minéralogie de Besançon (en remplacement de M. Glangeaud).

M. Lesieur, Professeur à titre personnel, est nommé dans la chaire de Géométrie supérieure de Poitiers.

M. Nigon, Professeur sans chaire, est nommé dans la chaire de Zoologie expérimentale de Lyon.

M. Sudron est nommé dans la chaire de Physicochimie macromoléculaire de Strasbourg (création).

M. Domange, Professeur à titre personnel, est nommé dans la chaire d'Hygiène et d'Hydrologie de la Faculté de Pharmacie de Paris.

M. Paul Montel, membre de l'Institut, est nommé membre du Bureau des Longitudes (en remplacement de M. Chazy, décédé).

M. Jean-Jacques Juglas est nommé Directeur de la Recherche scientifique d'outre-mer (en remplacement de M. Combes).

CONGRÈS ET RÉUNIONS SCIENTIFIQUES

EN FRANCE :

IV^mes Journées de l'Hydraulique organisées par la Société Hydrotechnique de France sur le thème : « Les Energies de la Mer », Paris, 10-17 juin 1956, 199, rue de Grenelle (7^e).

Journées Cybernétiques organisées par la Société d'Etudes Philosophiques de Marseille les 24 et 25 mars 1956. Inscriptions : M. François Meyer, av. Philippe-Solari, Aix-en-Provence.

Congrès de l'Association Française pour l'Avancement des Sciences, Dijon, 16-21 juillet 1956. Inscriptions et renseignements au Secrétariat de l'Association, 28, rue Serpente (6^e).

Colloque sur la « Contribution Française à l'Etude de la Flore de l'Amérique du Nord », Paris (Muséum), 11-14 septembre 1956.

VI^e Congrès de la Société Internationale de la Science du Sol, Paris, 29 août-8 septembre. Renseignements : Secrétariat général, 3, rue de Penthièvre, Paris (8^e).

IV^e Congrès International du Verre, Paris, 2-6-juillet 1956. Renseignements : M. Vandecapelle, Directeur de l'Institut national du Verre, 24, rue Dourlet, Charleroi (Belgique).

A L'ETRANGER :

VI^e Symposium International sur la Combustion. Université Yale, New-Haven (Connecticut), 19-25 août 1956. Inscriptions et renseignements : Professeur P. Laffitte, 1, rue Victor-Cousin, Paris (5^e).

IX^e Congrès International de Mécanique Théorique et Appliquée, Bruxelles, 5-13 septembre 1956. Renseignements : Secrétariat général, Université libre de Bruxelles, 50, av. F.-D.-Roosevelt, à Bruxelles.

Réunion, en l'honneur du centenaire d'Avogadro, sur « Les Constances Fondamentales de la Physique », Turin, 6-11 septembre 1956.

X^e Congrès International d'Entomologie, Montréal, 17-27 août 1956. Renseignements : M. J. A. Downes, Division of Entomology, Science Service Building, Ottawa (Canada).

Symposium de Cristallographie, Madrid, 2-7 avril 1956. Renseignements : Secrétariat du Comité, Serrano 118, Madrid.

Symposium International de Chimie macromoléculaire, Rehovoth, 3-9 avril 1956. Renseignements : Prof. A. Katchalsky, The Weizmann Institute of Science, Rehovoth (Israël).

II^e Congrès International d'Acoustique, Cambridge (Massachusetts), 17-24 juin 1956. Renseignements : Prof. R. H. Bolt, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge (Mass.).

XX^e Congrès International de Physiologie, Bruxelles, 30 juillet-4 août. Renseignements : Prof. J. J. Reuse, Faculté de Médecine, 115, bld de Waterloo, Bruxelles.

XV^e Congrès International de Chimie Pure et Appliquée (Chimie analytique), Lisbonne, 9-16 septembre 1956. Renseignements : Prof. P. A. Laurent, Instituto Superior Tecnico, Avenida Rovisco Pais, Lisbonne.

XX^e session du Congrès géologique international, Mexico, 4-11 septembre 1956. Comité ejecutivo : Balderas 36-302 A, Mexico, D. F. (Mexique).

Colloque sur l'Histochimie de la Surrénale organisé par la Société française d'Histochimie à Lisbonne, 26-28 mars 1956. Renseignements : Prof. Jean Verne, 45, rue des Saints-Pères, Paris (6^e).

Nous sommes heureux d'annoncer à nos lecteurs que M. Pullman, dont nous publions un article dans ce numéro, vient de recevoir, avec Mme Pullman, le prix ESSEC qui souligne l'importance de leurs travaux à la fois mathématiques, chimiques et biologiques sur la question du cancer.

Roger HEIM. — Un Naturaliste autour du Monde. — (Collection « Les Savants et le Monde »), Albin Michel édit. 690 francs.

M. Roger Heim, mycologue de renommée mondiale et naturaliste au sens le plus complet du terme, a participé à de nombreuses missions scientifiques lointaines. Le petit ouvrage qu'il nous présente aujourd'hui est un véritable carnet de route, rédigé au jour le jour, recueil inépuisable de récits et d'images, d'observations et de réflexions.

Entraînés par ce voyageur infatigable, nous franchissons d'un coup d'aile « cet immense carrefour animé et silencieux qu'on nomme le Sahara ». Avec lui, nous escaladons les pentes raides de l'Ivangomena. Avec lui, nous plongeons dans la mer pour y découvrir un monde étrange, grouillant et multicolore, véritable « fantasmagorie sous-marine à laquelle coraux, poissons et animaux des récifs ajoutent leur indescriptible et indicible décor ». Avec lui enfin, nous goûtons la fraîcheur de la forêt, près d'une rivière aux eaux claires « roulant sur des dalles de granit, entre les rives émaillées de frondaisons d'osmondes, d'aroïdées, de balsamines ».

Mais si le naturaliste se montre volontiers poète, le savant ne perd jamais ses droits. Le mycologue nous décrit minutieusement les maladies pour la plupart cryptogamiques, dont souffrent les dattiers de la Vallée du Draa, les bananiers de Guinée, des caféiers du Cameroun. Il rectifie pour nous la vieille légende, chère à Maeterlinck, des termites cultivateurs de champignons, légende « empreinte à la fois de poésie et de finalisme », mais qui, malheureusement pour les finalistes et les poètes, ne résiste guère à un examen scientifique sérieux. Il nous présente enfin une claire mise au point de la question des champignons luminescents des régions tropicales. Le botaniste nous aide à réviser la vieille notion d'association végétale, « aboutissement logique d'une conception fausse », « concept artificiel et systématique » qui peut avoir quelque valeur chez nous, mais qui, dans la sylve africaine où règnent « l'imbroglio, la confusion, l'intrication, le hasard », ne semble « reposer que sur une vision de l'esprit ».

M. Roger Heim aime la Nature, certes, et il affirme volontiers qu'il la préfère aux hommes..., ces hommes qu'il accuse de rompre l'harmonie des faunes et des flores, de saccager inutilement des richesses naturelles irremplaçables, d'orienter toute leur action vers une exploitation totale assurant un profit matériel immédiat. Il n'hésite cependant pas à rendre hommage à quelques hommes exceptionnels qui, çà et là, ont su faire œuvre utile. Tel ce haut-fonctionnaire d'une terre française lointaine qui s'est « attaché à son devoir sans aucun souci d'avancement, sans arrière-pensée d'ambition personnelle ». Tel ce curieux ermite de la brousse, Tarzan d'un type nouveau, qui guida l'auteur dans ses promenades mycologiques dans la forêt tropicale. Tels enfin tous ces explorateurs, naturalistes et agronomes, conquérants pacifiques à la fois confiants et enthousiastes, qui ont su porter et maintenir au delà des mers les bienfaits de la civilisation et de la culture françaises.

Pierre VINCENT.

Daniel LAGACHE. — La Psychanalyse. — Collection « Que sais-je ? », P. U. F., n° 660. Prix : 156 fr.

Chacun sait, — et les lecteurs de la **Revue Générale des Sciences** mieux que tout autre public — quelle a été la fulgurante carrière du Docteur Daniel Lagache, qui, à peine sorti de l'Ecole Normale Supérieure, fut reçu aux deux concours les plus difficiles de l'Université de France : l'Internat des Hôpitaux de Paris et l'agrégation de philosophie, et joignit au doctorat en médecine (**Les hallucinations verbales et la parole**, P. U. F., 1934) le doctorat ès lettres. (**La jalousie amoureuse**, P. U. F., 1947). Successivement chef de clinique des maladies mentales à la Faculté de Médecine de Paris, Professeur de psychologie à la Faculté des Lettres de Strasbourg, il a été nommé à moins de quarante ans professeur à la Sorbonne et il est aujourd'hui Directeur de l'Institut de Psychologie de Paris, Président de la Société Française de Psychanalyse, Directeur de la Bibliothèque de Psychanalyse : nul ne pouvait espérer pour la collection « Que sais-je ? » une signature plus autorisée du volume concernant la psychanalyse.

Au surplus, l'ouvrage répondait à une stricte nécessité : il n'existe en effet aucun ouvrage recommandable au grand public sur la psychanalyse, à l'exception des livres de Freud lui-même (comme **L'Introduction à la Psychanalyse**, parue il y a plus de trente ans, et qu'il convient de compléter par toute une série de lectures connexes, ou **L'Abrégé de Psychanalyse**, inachevé).

M. le Pr. D. Lagache divise son ouvrage, qui respecte rigoureusement les règles de la collection (ne pas dépasser les 128 pages), en 17 chapitres d'une longueur très variable, puisque les uns (comme les chapitres II, VII, XVI ou XVII) ne dépassent pas 3 pages, tandis que les autres, comme le premier, le IX° et le XI°, s'étendant au delà de 10 pages : partant d'un historique de la psychanalyse et de l'idée que le terme désigne, selon Freud, « une méthode d'investigation de processus mentaux », une « technique de traitement des désordres névrotiques » et « un corps de savoir psychologique dont l'accumulation tend à la formation d'une nouvelle discipline scientifique ». M. Lagache montre la préhistoire, la protohistoire et les prolongements — voire les dépassements — du freudisme (en insistant sur l'école psychanalytique anglo-saxonne, notamment aux Etats-Unis).

L'auteur met en lumière les travaux réalisés dans la période 1880-1890 par les Breuer, les Moebius, les Charcot, les Bernheim, les Pierre Janet. Visiblement l'intérêt pour les névroses et spécialement pour l'hystérie, « l'utilisation de l'hypnose comme moyen d'investigation », la « découverte de l'action pathogène des souvenirs inconscients d'événements traumatiques », ou l' « action thérapeutique de hypnose, de la suggestion et de la catharsis », ont conduit Freud à s'interroger sur la possibilité de cette science nouvelle. Puis le docteur Lagache souligne l'importance des principes fondamentaux de la psychanalyse (Principes de constance, de plaisir-déplaisir, et de réalité), des instincts (en se fondant sur une étude rigoureuse des pulsions, du narcissisme, de la maturation et de l'éducation des instincts), de la personnalité et de la conduite psychanalytique (chapitres I à VI). Puis vient une analyse de la vie quotidienne (VII à IX) avec l'explication du sommeil, du rêve, du cauchemar, de l'acte manqué, du lapsus. Les chapitres IX et X concernent les résordres psychiques et saumatiques correspondant aux traitements proposés dans les chapitres XI à XIII, où il est fait une précieuse distinction entre l'analyse et la psychothérapie (et la narcoanalyse).

Les derniers chapitres sont de pure méthodologie : il s'agit de montrer le champ de recherche ou la validité des interprétations des investigations psychanalytiques, les applications possibles de la psychanalyse, les rapports de la psychanalyse et de la morale, ou la situation du psychanaliste.

On voit la variété d'un tableau à la fois complet et concret qui donne vraiment le point des connaissances actuelles en la matière de la façon la

plus rigoureusement objective. On peut appliquer à son ouvrage une formule de M. Lagache lui-même, disant que la psychologie avait cessé d'être de la littérature : c'est la littérature qui s'est faite psychologie, et, ajouterons-nous, en l'occurence, psychanalyse.

Denis HUISMAN.

Adrien-Marie LEGENDRE. — Théorie des nombres. — 4e édition, en deux grands in-4° (396 + 462 pages + tables de I à X), Blanchard (rue Racine), Paris, 1955. Prix : 6.500 francs.

Reproduction photographique de la troisième édition, cette quatrième lui est conforme, à des corrections près. Il n'est pas besoin de souligner l'avantage de détenir ces textes limpides, qui restent une base pour les arithméticiens, même les plus expérimentés, et qui ont reçus de Gauss lui-même une approbation sans réserve.

G. BOULIGAND.

J. LEGRAS. — Résolution pratique des équations différentielles. — Préface de M. J. Pérès, Dunod, Paris, 1954, 112 pages.

Le présent ouvrage constitue à l'usage des ingénieurs, un excellent précis de l'intégration des équations différentielles. Une première partie est consacrée à la description des outils mathématiques que l'on sera amené à utiliser ; à côté de développements classiques, M. Legras fait place aux méthodes du Calcul matriciel et de l'Analyse symbolique ; vient ensuite la mise en œuvre de ces procédés dans l'étude des équations et des systèmes d'équations linéaires à coefficients constants ; ceci constitue la seconde partie du livre. Dans la troisième, l'auteur s'attache à la description des procédés de résolution des équations linéaires et quasi-linéaires, à propos de la méthode des approximations successives, il développe la technique de convergence de M. Ligthill qui a rendu de grands services aux aérodynamiciens. Dans la dernière partie de l'ouvrage sont décrits des procédés spéciaux relatifs à l'intégration d'équations quelconques.

Dans tout le cours de son travail, M. Legras développe très largement les procédés de calcul numérique ; de nombreux tableaux et modèles de calcul sont donnés.

Cet ouvrage rendra de grands services à tous ceux qui s'intéressent aux mathématiques appliquées.

M. PARODI.

D'OCAGNE (M.). — Histoire abrégée des sciences mathématiques (Ouvrage recueilli et achevé par R. DUGAS). — Un vol. in-8°, 405 pages, Paris (Librairie Vuibert), s. d. (1955). Prix : 1.350 francs.

Œuvre posthume de M. d'Ocagne, soigneusement recueillie et terminée par R. Dugas, cette nouvelle histoire des mathématiques se présente comme une suite de courtes biographies des mathématiciens les plus éminents. De ce fait, les lignes directrices du progrès n'apparaissent qu'indirectement par une habile mise en ordre des notices successives. S'adressant à un large public, cet ouvrage n'entre d'ailleurs pas dans le détail technique des œuvres citées et les références y sont réduites au minimum. La bibliographie qui le termine se limite pratiquement à des ouvrages français et ignore les traités fondamentaux de Cantor, Klein, Cajori, Coolidge et Smith. Cependant, quoique cet ouvrage n'apporte aucun élément véritablement original, sa lecture, agréable et facile, est à recommander à tous ceux qui s'intéressent plus ou moins directement à l'histoire des mathématiques.

R. TATON.

Gérard PETIAU. — La théorie des fonctions de Bessel, exposée en vue de ses applications à la Physique Mathématique. — Un vol. relié de 480 p. (16 × 25) avec fig produit par le Centre d'Etudes Mathématiques (Institut H. Poincaré), Services de publications du C.N.R.S., Paris, 1955. Prix : 2.500 fr.

Cette monographie est la seconde de la série A (applications des théories mathématiques) où le **Calcul des probabilités** de R. Fortet l'a précédée. Le sujet traité par M. Gérard Petiau concerne le champ fonctionnel sollicité par les **problèmes aux dérivées partielles** où intervient la **symétrie du cylindre de révolution.**

Le lecteur voudra bien commencer par **examiner la table des matières**, indiquant en détail la substance des 24 chapitres, auxquels succèdent 28 pages de tables numériques et de graphiques. C'est dans le dernier tiers qu'il trouvera les applications concrètes. Les deux premiers tiers développent graduellement les techniques analytiques à mettre en œuvre. Au premier coup d'œil, elles semblent former un appareil assez massif, mais l'initiation est parfaitement conduite, et le lecteur familier avec le programme de mathématiques générales pourra suivre facilement les calculs, qui à partir du ch. III, prenant les solutions de l'équation de Bessel générale, permettent de les représenter ou par des séries, ou par des intégrales, ou d'en écrire les développements asymptotiques. Vite familier avec les théorèmes d'addition et de multiplication, ainsi qu'avec les propriétés des zéros des fonctions de Bessel (= FB), il verra la richesse de résultats obtenus en combinant dans ce champ les opération de l'analyse, en intégrant par exemple des expressions formées à partir de FB, puis en s'élevant aux FB intégrales, aux séries et intégrales de Fourier-Bessel, en faisant usage de suites orthogonales, en appliquant les FB à divers types d'équations différentielles, etc...

Ici, on aborde les applications à partir du **problème de Képler**, où l'équation

$$\psi = u - e \sin u$$

se résout sous la forme

$$u = \psi + 2\left(\frac{J_1}{1}\sin\psi + \frac{J_2}{2}\sin 2\psi + \frac{J_3}{3}\sin 3\psi + \ldots\right)$$

où les FB notées J_1, J_2, J_3..., sont prises pour les valeurs e, 2 e, 3 e..., respectivement ayant ainsi exprimé l'anomalie excentrique en fonction de l'anomalie moyenne, on atteint un seuil où se présentent les fonctions de Bessel de plusieurs variables.

Vient ensuite l'étude des petites oscillations d'une chaîne pesante (**problème de Bernoulli**). Les FB s'appliquent aussi aux problèmes de **marche au hasard** (exemple : enveloppe d'un groupe d'ondes sinusoïdales, avec phases aléatoirement réparties). Puis voici des sujets plus classiques :

Problèmes de **conductibilité calorifique** (ex. : refroidissement d'un cylindre de révolution), **vibrations** des membranes circulaires, **vibrations** élastiques des plaques minces.

Certains calculs introduits aux fins précédentes font émerger les **transformations** de Hankel finies, simplifiant l'étude du mouvement d'un liquide visqueux entre cylindres coaxiaux.

Autres applications des FB : lumière diffractée par les ouvertures et les écrans, propagation de l'électricité et des ondes électromagnétiques, théorie de la modulation de fréquence, questions de mécanique ondulatoire (ondes électroniques en champ électrique constant, fonctions d'ondes coulombiennes).

L'ouvrage ainsi réalisé sera, pour de nombreux chercheurs, un guide précieux.

G. BOULIGAND.

M. REINER. — Rhéologie théorique. — XVIII, 188 p. (14 × 22), avec 62 fig. Traduit par J. et M. Outin, Paris, Dunod, 1955. Prix : 1.960 francs.

Le nouveau terme de **rhéologie** désigne la science de l'écoulement et de la déformation de la matière, étant entendu qu'aux conceptions idéales du

corps élastique du liquide, du corps plastique, on substitue résolument les corps naturels plus ou moins proches des états limites cités. L'auteur, à qui l'on doit la fondation de cette théorie, a été conduit par cette proximité à rappeler au début des choses assez classiques, où il a soin d'utiliser le calcul tensoriel. On entre, à partir du ch. VII, dans le vif du sujet, par le recours à des modèles rhéologiques et à des schémas qui, combinés entre eux, permettent d'atteindre des cas complexes, et cela d'une manière assez réaliste.

G. BOULIGAND.

C. J. SMITH. — Electricité et Magnétisme. — 734 pages, Edward Arnold, Londres, 1954.

Dans cet ouvrage qui constitue le cinquième tome de la série « A general degree Physics », l'auteur expose, du point de vue classique, les propriétés fondamentales de l'électricité et du magnétisme en donnant une ampleur égale à la théorie et à l'expérience.

L'exposé, du niveau français de la licence, comporte dix-huit chapitres dans lesquels sont successivement étudiées les questions suivantes :

Les principes fondamentaux de l'Electrostatique ; la théorie des diélectriques isotropes ; le principe de superposition des états électriques ; les champs magnétiques produits par les courants ; la loi d'Ohm et ses applications ; l'induction électromagnétique ; la thermoélectricité ; les appareils de mesures électriques ; le ferromagnétisme ; l'aimantation ; le dia- et le paramagnétisme ; les phénomènes transitoires en électricité ; les courants alternatifs ; l'application de la méthode vectorielle à l'étude des courants sinusoïdaux ; l'électrolyse ; les unités.

Aussi riche en faits expérimentaux qu'en aperçus théoriques, cet ouvrage moderne constitue une excellente introduction à l'étude de la théorie de l'Electricité et du Magnétisme.

M. PARODI.

Victor THÉBAULT. — Parmi les belles figures de la géométrie dans l'espace : géométrie du tétraèdre. — Un vol. (16 × 25) de 286 p. avec fig., Paris Vuibert, 1955. Prix : 2.000 francs.

Excellente monographie, d'un auteur bien connu pour ses travaux en ce domaine, à la suite de notes aux Comptes rendus et de mémoires, domaine pour lequel ont été réalisées, en France et à l'étranger, peu de livres didactiques. Le livre actuel donne une occasion nouvelle de confronter la géométrie du triangle et celle du tétraèdre.

A la faveur d'un exposé progressif, il donne accès aux résultats les plus récents de la géométrie du tétraèdre. Il rassemble tout un choix de questions dont quelques-unes ont suscité d'intéressants développements.

La bibliographie terminant l'ouvrage favorisera la poursuite des recherches sur ce sujet, pouvant donner lieu à des efforts très divers (1).

G. BOULIGAND.

A. TOURAINE. — L'hérédité en médecine. Caractères, maladies, corrélations. — Un vol. relié (16 × 23) de 876 p., 531 fig. Masson et Cie, 1955. Prix : 7.200 francs.

Jusqu'à présent la littérature française comptait peu d'ouvrages sur la génétique médicale ; aux anciens livres d'Apert sur les **Maladies familiales ou congénitales** (1907) et sur l'**Hérédité morbide** (1919) ont succédé les excellents volumes du professeur M. Lamy, **les applications de la Génétique à**

(1) Voir R. C. S., t. LX, 1953, p. 319.

la **Médecine** (1943) et le **Précis de génétique médicale** (1953) où était esquissé un panorama de l'hérédité pathologique. Il n'existait point encore en France un traité de l'Hérédité en médecine ; le présent ouvrage du professeur A. Touraine comble cette lacune.

La première partie expose les notions de génétique générale, indispensables à connaître, pour bien comprendre les mécanismes héréditaires.

La seconde partie, plus largement développée (près de 700 pages), est consacrée à la génétique appliquée ; les caractères héréditaires généraux intéressant tout l'organisme (caractères physiologiques et pathologiques) et les caractères héréditaires particuliers sont successivement envisagés ; ces derniers sont classés d'après leur origine embryologique, caractères d'origine ectodermique (ectoderme nerveux, cutané, neuro-cutané), endodermique, mésodermique. Pour chaque caractère sont mentionnés : les manifestations cliniques, le ou les modes d'hérédité, les indications données par les jumeaux, les corrélations et les références bibliographiques essentielles et récentes (postérieures à 1940).

Ce volume constitue une source d'information et de documentation tout à fait exceptionnelle, jusqu'ici inexistante en langue française. Si les gros traités allemands sur l'hérédité humaine sont indiqués, on regrette que l'**Human genetics** de R. R. Gates (1946) et **Principles of human genetics** de Stern (1949) soient omis. L'abondante illustration ne comprend que des arbres généalogiques ; quelques photographies montrant l'anomalie ou le caractère pathologique auraient été appréciées.

Ces légères remarques ne diminuent aucunement la valeur de l'ouvrage, véritable somme qui représente un effort considérable et fournit aux médecins un outil de travail particulièrement précieux.

A. TÉTRY.

Arthur VERNES. — Mesure et Traitement. — Editions internationales, Paris.

Dans ce livre, le docteur Arthur Vernes apporte des arguments éloquents en faveur de sa conception : dans le cancer, la tuberculose et la syphilis, la nécessité de la mesure qui seule peut fournir au médecin les données permettant d'établir un traitement rationnel et d'établir efficacement une prophylaxie.

Cette mesure est obtenue grâce au photomètre qui, permettant d'apprécier les variations d'opacité du sérum sanguin dans des conditions prévues, réalise une véritable pesée optique.

Au cours des chapitres consacrés aux trois fléaux, les techniques à mettre en œuvre sont expliquées en détail avec de nombreux exemples apportés à l'appui.

Ce livre est l'œuvre sincère d'un réalisateur convaincu. On le lira avec intérêt et profit.

Il commence par le texte des discours prononcés à l'occasion de la remise au docteur Vernes de la médaille à lui décernée par la Ville de Paris.

J. VERNE.

Applications scientifiques de la logique mathématique. - Actes du 2e Colloque International de logique mathématique, Paris, 25-30 août 1952. — Un vol. 176 p., Collection de Logique Mathématique, Paris, 1954, Gauthier-Villars, Edit. Prix : 2.200 francs.

Ce volume rassemble les textes des communications et interventions faites au 2e Colloque International de Logique Mathématique qui s'est tenu à Paris, du 25 au 30 août 1952, sous la présidence de M. Albert Chatelet.

De nombreuses communications présentèrent l'état actuel du développement de la logique formelle et son application dans les mathématiques

modernes, les théories physiques et la biologie. La participation active aux travaux de ce Colloque de MM. A. Chatelet, R. Feys, I. Johansson, Mlle G. Guitel, E. W. Beth, G. Kreisel, A. Robinson, P. Lorenzen, A. Heyting, R. Fraïssé, A. Rose, D. Tamari, J. Sublet, G. Kurepa H. B. Curry, H. Reichenbach, Mme P. Destouches-Février, J. L. Destouches, G. Bodiou, J. H. Woodger, J. Rignet, H. Meyer, L. Freire, D. Vuiysje, montre l'importanre du rôle de la formalisation logique dans les sciences modernes.

G. PETIAU.

Mécanique ondulatoire et cinétique. — Etudes faites sous la présidence de Louis de Broglie. — Un vol. (24 × 15) de 204 pages. Editions de la Revue d'Optique, Paris, 1955. Prix : 1.500 francs.

Ce livre atteste avec éclat du rayonnement de la Mécanique ondulatoire en des champs très divers.

A côté de l'analyse statistique des collisions moléculaires (M. Magat) interviennent ici les réactions explosives (G. Pannetier) ; le rôle des barrières de potentiel en chimie quantique se montre en pleine évidence (Daudel, Chalvet). Les bases de la cinétique sur le plan électro-chimique ou sur celui des échanges isotopiques sont clarifiées (Audubert, Bénard, Haïssinsky, Rumpf) ; la chimie théorique éclaire la réactivité chimique des hydrocarbures organiques (B. Pullman). Apports non moins substantiels sur les phénomènes de diffusion et de réaction à l'état solide (Trillat), sur la thermodynamique de l'irréversible (Prigogine), sur divers processus à l'ordre du jour en chimie organique (Prévost).

G. BOULIGAND.

Rôle et Formation de l'Ingénieur du Génie Chimique. — 1 broch. 39 pages, 16 × 24 cm., conférence internationale (Londres, 21-23 mars 1955), publiée par l'Agence Européenne de Productivité de l'O. E. C. E.

Cette brochure relate les comptes-rendus de la Conférence internationale de Londres (21-23 mars 1955) à laquelle assistaient 350 délégués dont 11 pour la France, composés principalement d'industriels et de professeurs venant de treize pays européens (et en outre quelques personnalités américaines). A une exception près les différents pays sont d'accord pour considérer le Génie Chimique comme une quatrième technique fondamentale prenant place à côté des autres professions d'ingénieur du Génie Civil, d'ingénieur mécanicien et d'ingénieur électricien.

La seconde idée qui s'est nettement dégagée, c'est qu'il existe une importante demande non satisfaite d'ingénieurs du Génie Civil dans chacun des pays représentés. On a examiné également la nécessité de développer les recherches et les dispositions à prendre pour y parvenir.

Enfin il a été reconnu nécessaire de répandre l'idée de l'importance du Génie Chimique non seulement en dehors des milieux spécialisés, mais dans l'ensemble des pays représentés.

Le Génie Chimique est encore une profession très jeune. Il ne faut pas s'étonner si, dans les différents pays et les diverses université, elle suit des orientations différentes. Ses qualités d'adaptation sont la grande force du Génie Chimique et ses techniques s'introduisent dans presque toutes les industries.

P. LAFFITTE.

Imprimerie Jacques et Demontrond, Besançon. — 6537 - 2-56.
Dépôt légal 1er trimestre 1956 : n° 5715. Le Gérant : R. CONSTANS.